

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**

**Facultad de Ciencias**

**Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones**



**TESIS**

**“ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE DE LA TELEFONIA MOVIL”**

**PRESENTADO POR:**

**Bachiller. JESUS DEYMER MENDOZA GARCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO DE:**

**INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES**

**ASESOR:**

**ING. MIGUEL ANGEL PANDURO ALVARADO**

**LINEA DE INVESTIGACIÓN:**

**INFORMATICA, ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES**

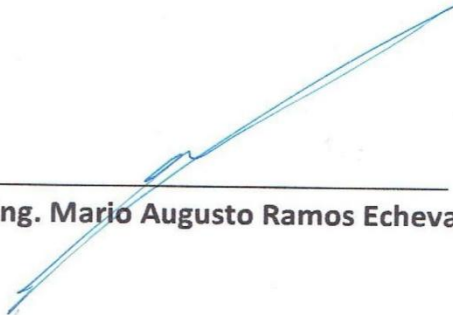
**SUB LINEA DE INVESTIGACIÓN: TELECOMUNICACIONES**

**Piura, Perú Enero de 2019**

La Presente Tesis Denominada "Estudio del Estado del Arte de la Telefonía  
Móvil "Asido Aprobada por el Siguiende Jurado de Tesis:



**Presidente. Dr. Carlos Enrique Arellano Ramírez**



**Secretario. Ing. Mario Augusto Ramos Echevarría**



**Vocal. Msc. Ajax Manuel Sifuentes Montes**

La presente tesis: **"Estudio del Estado del Arte de la Telefonía Móvil "** cumple los estándares exigidos por la Universidad nacional de Piura, IEEE, además se dan los créditos a los autores que contribuyen en esta línea de investigación y referenciados en la tesis. Por lo tanto su contenido es original producto de estudios e investigaciones hechas por el autor y asesor.



---

Jesús Deymer Mendoza García  
Dni. 47247739



---

Asesor.Ing. Miguel Panduro Alvarado  
Dni. 19098332



### Declaración Jurada de Originalidad de la tesis

Yo, Jesús Deymer Mendoza García identificado con DNI. 47247739, Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Piura y domiciliado en la calle Zarumilla 240 – AH. El Porvenir del Distrito de Bellavista. Provincia de Sullana Departamento de Piura.

**DECLARO BAJO JURAMENTO:** que la tesis que presento es original e inédita, no siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada, y/o realizada en el Perú o en el Extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido Art. N°411, del código penal concordante con el Art.32° de la Ley N°27444, y Ley del procedimiento Administrativo General y las Norma Legales de Protección a los Derechos de Autor.

En fe de lo cual firmo la presente..

Piura, 28 de Enero del 2019



Jesús Deymer Mendoza García

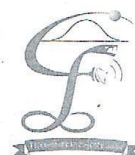
DNI. 47247739

Artículo 411.- El que, en un procedimiento administrativo, hace una falsa declaración en relación con hechos o circunstancias que le corresponde probar, violando la presunción establecida por ley, será reprimido con pena privativa de libertad no menor de uno ni mayor de cuatro años.

Art. 4 Inciso 4.12 del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales-RENATI Resolución de Consejo Directivo N°033-2016-SUNEDUICD



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA FACULTAD DE CIENCIAS



"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN Y LA IMPUNIDAD"

## ACTA DE SUSTENTACIÓN 003-2019-D-FC-UNP

Los Miembros del Jurado Calificador que suscriben, reunidos para evaluar la Tesis denominada "ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE DE LA TELEFONÍA MÓVIL" presentada por el señor Bachiller MENDOZA GARCIA JESUS DEYMER, con el asesoramiento del Ing. Miguel Ángel Panduro Alvarado; oídas las observaciones y respuestas a las preguntas formuladas, y de conformidad al Reglamento de Tesis para obtener el Título Profesional en la Facultad de Ciencias, lo declaran:

APROBADO (X)

DESAPROBADO ( )

Con la mención de:

MUY BUENO

(X) En consecuencia, queda en condición de ser ratificado por el Consejo de Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Piura, y recibir el TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES.

(X) En consecuencia, queda en condición de ser ratificado por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, y recibir el TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES; después que el sustentante incorpore la sugerencia del Jurado Calificador.

Piura, 11 enero del 2019.

Dr. CARLOS ENRIQUE ARELLANO RAMÍREZ  
PRESIDENTE DE JURADO DE TESIS

Ing. MARIO AUGUSTO RAMOS ECHEVARRIA  
SECRETARIO DE JURADO DE TESIS

MSc. AYAX MANUEL SIFUENTES MONTES  
VOCAL DE JURADO DE TESIS

Campus Universitario - Urb. Miraflores S/N. Castilla



## RESUMEN

Los sistemas de comunicaciones móviles revolucionaron la forma en que las personas se comunican, desde comunicaciones fijas cableadas hacia las de transmisión de datos mediante conexiones inalámbricas y generando un desarrollo acelerado de las redes de comunicaciones móviles desde la primera generación (1G) hasta la 7G. Estas tecnologías tienen una componente de radio, pero también tienen una gran parte de infraestructura para poder ofrecer todo tipo de servicios. Cada vez que se aparece una nueva generación, tiene un mayor ancho de banda, servicios de forma que puede satisfacer requisitos cada vez más complejos y una modular migración de tecnología móvil predecesora. La tecnología y la integración en los sistemas de comunicación han estado operando competitivamente en todas las formas de la industria, lo que resulta en la mejora continua de los servicios que llegan al usuario. Una de las áreas más importantes que afectan la configuración y provisión de estos servicios es la aparición del Internet de las Cosas (IoT), según el cual se espera la conexión de mil millones de dispositivos en Internet. Estos dispositivos van a intercambiar información y proporcionar servicios. Por lo tanto, deberán crearse nuevas tecnologías de telecomunicaciones para habilitar y apoyar las aplicaciones de IoT. Una de estas aplicaciones es el desarrollo de las comunicaciones de máquina a máquina. Esta tesis es una revisión del estado del arte del sistema de telecomunicación móvil existentes y un estudio de las tecnologías de los futuros sistemas de comunicación. Más específicamente, estudiamos la transición de las redes de Primera Generación existentes a las futuras tecnologías de Quinta-Sexta Generación en cinco capítulos. Aunque estas tecnologías y aplicaciones no están desarrolladas o aún se encuentran en la etapa de investigación, los requisitos para su implementación ya han sido identificados.





## ABSTRACT

The mobile communications systems revolutionized the way people communicate, from xed wired communications to data transmission through wireless connections and gen-erating an accelerated development of mobile communications networks from the rst generation (1G). ) until 7G. These technologies have a radio component, but also have a large part of xed infrastructure to o er all kinds of services. Each time a new gen-eration appears, it has a greater bandwidth, services so that it can satisfy ever more complex requirements and a modular migration of prede ned mobile technology.

Technology and integration in communication systems have been operating competi-tively in all forms of the industry, resulting in the continuous improvement of the nal services that reach the user. One of the most important areas that will a ect the con-figuration and provision of these services is the appearance of the Internet of Things (IoT), which is expected to connect a billion devices on the Internet. These devices will exchange information and provide services. Therefore, new telecommunications technologies should be created to enable and support IoT applications. One of these applications is the development of machine-to-machine communications.

This thesis is a review of the state of art of the existing mobile telecommunication sys-tem and a study of the technologies of future communication systems. More speci cally, we study the transition of existing First Generation networks to future Fifth-Generation technologies in ve chapters. Although these technologies and applications are not de-veloped or are still in the research stage, the requirements for their implementation have already been identi ed.

**KEYWORDS:** Generation Networks (1-5G), Evolution of Mobile Networks, Telecom-munication systems.



# INDICE GENERAL

RESUMEN	iii
ABSTRACT	v
INDICE GENERAL	vii
INDICE DE TABLAS	xi
INDICE DE FIGURAS	xiii
1 Marco Referencial	1
1.1 Introduccion	1
1.2 Objetivos	1
1.2.1 General	1
1.2.2 Especifico	2
1.3 Antecedentes del problema	2
1.4 Justificacion e importancia de la investigacion	4
1.5 Alcance de la investigacion	4
1.6 Metodologia	4
2 Evolucion de las Comunicaciones Moviles	5
2.1 Tecnologias moviles	6
3 Comunicaciones Moviles 2G	17
3.1 Sistema GSM	18

3.1.1	Estandares 2G	19
3.1.2	Tecnolog a de acceso multiple	21
3.1.3	Infraestructura de red	23
3.1.4	Funcionalidad del terminal movil	28
3.1.5	Conectividad en GSM	29
3.1.5.1	Conexion movil a estacion base	29
3.1.5.2	Desarrollo de llamadas en GSM	30
3.1.6	Limitaciones tecnologicas	32
3.1.6.1	Ventajas, Desventajas en Transmision de Datos	32
3.1.6.1.1	Ventajas	32
3.1.6.1.2	Desventajas	33
3.2	Evolucion del 2G	34
3.2.1	Arquitectura de red GSM-CSD	36
3.2.2	Arquitectura de red GSM-HSCSD	36
3.2.3	Arquitectura de red GSM-EDGE	38
3.2.4	Arquitectura de red GSM-GPRS	39
4	Comunicaciones Moviles 3G	43
4.1	Requisitos de la UIT para la 3G	44
4.2	Estandares de red	45
4.3	Tecnolog a de acceso	48
4.4	Infraestructura de red UMTS	49
4.5	Evolucion del 3G	55
4.5.1	HSDPA	58
4.5.1.1	Programacion rapida de datos	59
4.5.1.2	Retransmisiones de datos rapidas	61
4.5.1.3	Adaptacion rapida del enlace	61
4.5.1.4	Evolucion de HSDPA	63
4.5.2	HSUPA	64
4.5.2.1	Programacion rapida de datos	65
4.5.2.2	Evolucion of HSUPA	66
4.6	Calidad de Servicio (QoS)	66

INDICE GENERAL	ix
4.7 Limitaciones de tecnolog a 3G . . . . .	68
5 Comunicaciones Moviles 4G	71
5.1 Estandares de red . . . . .	72
5.2 Tecnolog a de acceso . . . . .	82
5.3 Infraestructura de red LTE . . . . .	85
5.3.1 Nivel f sico LTE/LTE-A . . . . .	90
5.4 Transmision con multiple antenas . . . . .	94
5.4.1 Formacion del haz . . . . .	95
5.5 Nodos de retransmision . . . . .	95
5.5.1 Femtoceldas . . . . .	98
5.5.2 Realy . . . . .	100
5.6 Agregacion del portador . . . . .	102
5.7 Servicios y aplicaciones en LTE/LTE-A . . . . .	105
5.8 Limitaciones de la cuarta generacion de tecnolog a . . . . .	107
5.8.1 Sistemas 4G evolucionados y mejoras . . . . .	108
6 Sistemas moviles de 5G	109
6.1 Servicios del 5G . . . . .	110
6.1.1 Banda ancha movil . . . . .	110
6.1.2 Smart City con Internet of Thing (IoT) . . . . .	111
6.2 Principios de dise~no de quinta generacion . . . . .	114
6.2.1 Experiencia de usuario . . . . .	116
6.2.2 Rendimiento de sistema . . . . .	116
6.2.3 Despliegue de red . . . . .	117
6.2.4 Servicios mejorados . . . . .	118
6.3 Red de Acceso de Radio de Quinta Generacion . . . . .	119
6.3.1 Transmision RAN Espectro . . . . .	119
6.3.2 Nuevas bandas de frecuencia . . . . .	120
6.3.3 Ondas Centimetricas y Milimetricas . . . . .	120
6.3.4 Comunicaciones de alta frecuencia . . . . .	121
6.3.5 MIMO avanzado . . . . .	122

6.3.6	Transmision avanzada multiportadora .....	122
6.3.7	Transmision no ortogonal .....	123
6.3.8	Redes heterogeneas .....	123
6.3.9	Duplex completo .....	124
6.3.10	Celda peque~na avanzada .....	124
6.3.11	Dispositivo avanzado Comunicacion del dispositivo .....	125
6.3.12	Integracion multirate .....	126
6.3.13	Radio cognitiva .....	126
6.3.14	Latencia .....	127
6.3.15	Estandarizacion .....	128
6.3.16	Modulacion avanzada y codi cacion .....	129
6.3.17	Explotacion de la escasez .....	129
6.3.18	Redes centradas en la informacion .....	130
6.3.19	E ciencia energetica .....	131
6.3.20	Redes moviles .....	132
6.3.21	Integracion del sistema .....	132
6.4	Red principal de quinta generacion .....	133
6.4.1	Principios basicos de dise~no .....	133
6.4.2	Redes de nidas por software (SDN) .....	134
6.4.3	Virtualizacion de funciones de red (NFV) .....	134
6.4.4	Separacion del plano de control y acceso .....	135
6.4.5	Interfuncionamiento entre ratas .....	136
7	CONCLUSIONES .....	139
7.1	Recomendaciones .....	139
	BIBLIOGRAFIA .....	141

# INDICE DE TABLAS





# INDICE DE FIGURAS

1.1 Evolucion Redes Moviles	2
2.1 Evolucion de las comunicaciones moviles [2]	5
2.2 Descripcion general de las tecnolog as empleadas en comunicaciones moviles [6]	7
2.3 Evolucion de los estandares desde 3G a 5G [6]	8
2.4 Tendencia de Evolucion de los sistemas de comunicacion movil [6]	16
3.1 Bandas de frecuencias utilizadas por los sistemas GSM 1800 y su separacion [6]	20
3.2 Metodos de acceso multiple [6]	22
3.3 Red de comunicacion GSM [6]	24
3.4 Arquitectura del sistema GSM [6]	27
3.5 Esquema de bloques de un terminal movil [6]	28
3.6 Conectividad movil a estacion base [2]	30
3.7 Enrutamiento de llamadas GSM [2]	31
3.8 Infraestructura simplificada de la red movil 2.5G [2]	34
3.9 Transferencia de datos mediante CSD [2]	37
3.10 Transmision de datos usando HSCSD [2]	37
3.11 Transmision de datos en EDGE [2]	39
3.12 Red de comunicacion GPRS [2]	42
3.13 Transmision de datos usando GPRS [2]	42
4.1 Velocidades de datos minimas que deber an soportar los sistemas 3G [6]	45

4.2	Cronograma estandares de 3GPP [2] .....	47
4.3	Generacion de una se~nal W-CDMA [6] .....	50
4.4	Estructura de la red UMTS [2] .....	51
4.5	Evolucion Tecnolog as 3GPP [2] .....	56
4.6	Comparacion con Release 99 y Release 4 [11] .....	59
4.7	Asignacion de recursos de radio en el enlace descendente [6] .....	60
4.8	Retransmision de datos rapida en HSDPA [6] .....	62
4.9	Adaptacion rapida del enlace en HSDPA [6] .....	63
4.10	Comparacion con Release 99 y Release 4 HSUPA en Nodo B [2] ....	65
4.11	Clases de QoS [11] .....	68
5.1	La evolucion de los estandares moviles [6] .....	72
5.2	Releases de 3GPP [6] .....	74
5.3	Linea de tiempo de desarrollo de tecnolog a 5G [6] .....	82
5.4	Este gra co ilustra la diferencia entre la tecnica FDMA tradicional y la ortogonal [6] .....	83
5.5	Este gra co ilustra como los datos entrantes se separan y se trans eren a traves de diferentes subportadoras a traves de la tecnica OFDMA [6]	84
5.6	Este gra co ilustra como los datos entrantes se separan y se trans eren a traves de diferentes subportadoras a traves de la tecnica SC-FDMA [6]	84
5.7	El gra co ilustra la arquitectura de red de 4G [6] .....	85
5.8	OFDMA y asignacion de recursos en LTE/LTE-A [6] .....	91
5.9	Estructuras de trama LTE-A TDD y FDD [6] .....	92
5.10	Asignacion de subtramas de acuerdo a la con guracion DL-UL para TDD [6] .....	93
5.11	Principio de formacion del haz [6] .....	96
5.12	Este gra co ilustra como se aumenta la cobertura real mediante el uso de un nodo de retransmision LTE [6] .....	97
5.13	Despliegue de relays y objetivo [6] .....	101
5.14	Este gra co ilustra como un eNodoB puede asignar capacidad a un UE en multiples celdas simultaneamente [6] .....	102
5.15	Tipos de agregacion de portadora [6] .....	104

## INDICE DE FIGURAS

xv

5.16 Clases de servicio en LTE-A [6] .....	106
6.1 Este gra co ilustra la evolucion de la red desde 1G a la 5G de Redes [14]	110
6.2 Evolucion de la smart city hacia 5G [30] .....	114

# CAPITULO 1

## Marco Referencial

### 1.1 Introduccion

Los sistemas de comunicaciones moviles revolucionaron la forma en que las personas se comunican y en una nueva necesidad comunicativa de la Sociedad de la Informacion (SI). Desde comunicaciones jas cableadas hacia las de transmision de datos medi-ante conexiones inalambricas y su desarrollo acelerado de las redes de comunicaciones moviles desde la primera generacion (1G - 1980) hasta la 7G (2040). Estas tecnolog as tienen una componente de radio comunicaciones, pero tambien tienen una gran parte de infraestructura ja para poder ofrecer todo tipo de servicios. Cada vez que se aparece una nueva generacion, tiene una mayor ancho de banda, servicios, de forma que pueda satisfacer demandas del suscriptor cada vez mas complejos y su migracion modular desde la tecnolog ca movil predecesora.

### 1.2 Objetivos

#### 1.2.1 General

Presentar un estudio de la evolucion de la telefon a movil, que nos permita tener una referencia para una iniciacion cient ca en el campo de las telecomunicaciones y sirva referencia de consulta de estudio de pregrado.

### 1.2.2 Especifico

Sintetizar los conocimientos de la telefonía móvil desde la primera hasta la cuarta generación LTE (Long Term Evolution, Evolución a Largo Plazo).

Examinar publicaciones y libros que permitan formular un estado del arte de la telefonía móvil y sus tendencias evolutivas 1-6G.

## 1.3 Antecedentes del problema

Actualmente el nuevo estándar de telecomunicaciones denominado LTE (Long Term Evolution, Evolución a Largo Plazo) es el que presenta mayor crecimiento a nivel mundial. Los operadores están siendo atraídos por los beneficios que esta nueva tecnología promete como: un aumento en el ancho de banda, mayor capacidad de la red, un mejor uso del espectro, la reducción de precios, menor latencia, dispositivos más atractivos para los usuarios y demás prestaciones [UCGuevara].

Las redes móviles han tenido una imperante evolución, debido al incremento y demanda de servicios móviles. En la Tabla 1.1 se muestra como en los últimos años se ha incrementado las velocidades de acceso para la prestación de servicios de banda ancha a los usuarios. Para el año 2016, esta tendencia se marca bajo la evolución de las redes LTE y LTE Advance<sup>11</sup>, y se inician los estudios para las redes de quinta generación (5G), tecnología que se encuentra en los grupos de estudio de la Unión Internacional de Telecomunicaciones [PuchaicelaHuaca].

2G		3G				4G	5G
GSM	GPRS	WCDMA	EDGE	HSPA	HSPA+	LTE- LTE Advance	5G
9,6 kbps	114 kbps	384 kbps	473 kbps	14,4 kbps	42 Mbps	172 Mbps	1 Gbps
1991	2000	2001	2003	2005	2008	2009	2016

Figura 1.1: Evolución Redes Móviles

El futuro de la comunicacion inalambrica movil las redes se experimentaran varias generaciones como lo han hecho experimentado. Este tipo de desarrollo impulsar la investigaciones de tecnolog a de la informacion en el area industrial. En esto papel, predecimos las futuras generaciones de dispositivos moviles inalambricos redes de comunicacion incluyendo 4G, 5G, 6G y 7G generaciones. El objetivo principal de este documento es proponer un marco tecnico para la industria en el futuro. Por lo tanto, este documento es se centro en la especi cacion de las generaciones futuras de inalambricos redes de comunicacion movil [Omar Zakaria]. El paso siguiente a UMTS en la evolucion de las redes moviles se conoce como Long Term Evolution (LTE). LTE se de ne en la Release 8 y 9 de 3GPP. A diferencia de UMTS, LTE utiliza acceso OFDMA y SC-FDMA (Single Carrier OFDMA) para los enlaces descendente y ascendente respectivamente en lugar de WCDMA, utilizada en UMTS. Por lo tanto, las caracter sticas de transmision son muy diferentes si las comparamos con UMTS. Sin embargo, LTE esta considerado como parte de los sistemas 3G, ya que no cumple con los requisitos de nidos por la ITU para las redes 4G. El primer estandar clasi cado como 4G es LTE-A (Long Term Evolution - Advanced) estandarizado en junio de 2011de acuerdo con la Release 10 de 3GPP. Es la evolucion del anterior LTE de nido en las Release 8 o 9 y basado en los mismos principios que ambas versiones de LTE, pero esta alineado con el conjunto de requisitos de nidos por la ITU y conocidos como IMT-Advanced. En comparacion con LTE, LTE-A introduce agregacion de portadora, coordinacion de la interferencia entre celdas, o mejoras en la transmision de multiples antenas (MIMO). Todas estas mejoras permiten que LTE-A cumpla con los requisitos de IMT-Advanced para redes moviles 4G y permita tasas de datos maximas de hasta 1 Gbps. Ademas de LTE-A, tambien WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) estandarizado por el IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers) segun IEEE 802.16m, fue aprobada como tecnolog a 4G para redes moviles. A continuacion se presenta una breve rese~na de la evolucion de LTE / LTE-A en terminos de Releases 3GPP enfatizando las innovaciones importantes con respecto a las versiones anteriores [RedesMoviles].

## 1.4 Justificación e importancia de la investigación

Las telecomunicaciones móviles es una tecnología madura que se está extendiendo rápidamente debido a sus características, mejoras con diferentes generaciones y predominando la LTE en sus diferentes versiones. Se ha convertido en una nueva necesidad comunicativa de la Sociedad de la Información. Ante esta realidad es relevante el estudio del estado del arte de la telefonía móvil, permitiendo tener una referencia para una iniciación científica en el campo de las telecomunicaciones, desarrollar un documento de consulta y formular la creación de líneas-temas de investigación.

## 1.5 Alcance de la investigación

La limitación de este trabajo se enmarcará en una revisión exhaustiva de referencia bibliográfica con énfasis en LTE. Presentando los conceptos básicos en los que se basa la tecnología para entender, complementar y poder explicar el funcionamiento de esta red.

## 1.6 Metodología

El desarrollo metodológico de la tesis consiste desde la selección-clasificación de los artículos, libros para la generación del estado del arte de la telefonía móvil que comprende:

1. Descripción del origen de la creación de estándares de la telefonía móvil, y se detallan las mejoras que esta presenta frente a sistemas anteriores.
2. Descripción del funcionamiento del sistema LTE. Se detallan los componentes utilizados en la arquitectura del sistema y las técnicas que utiliza la tecnología para satisfacer su funcionalidad.
3. Descripción de los factores que diferencian a LTE de otras innovaciones en tecnologías móviles.

## CAPITULO 2

# Evolucion de las Comunicaciones Moviles

Los sistemas de comunicaciones móviles revolucionaron la forma en que las personas se comunican, desde comunicaciones cableadas hacia las de transmisión de datos mediante conexiones inalámbricas y generando un desarrollo acelerado de las redes de comunicaciones móviles desde la primera generación (1G) hasta la 7G [27]. Estas tecnologías tienen una componente de radio, pero también tienen una gran parte de infraestructura para poder ofrecer todo tipo de servicios [6]. Cada vez que se aparece una nueva generación, tiene una mayor ancho de banda, servicios de forma que puede satisfacer requisitos cada vez más complejos y una modular migración de tecnología móvil predecesora ver figura 2.1.



Figura 2.1: Evolucion de las comunicaciones móviles [2]



## 2.1 Tecnologías móviles

La primera generación de tecnología de teléfono móvil de primera generación o 1G se introdujo en la década de 1980 como el primer sistema de telecomunicaciones móviles y cumplió con la voz móvil básica mediante la transmisión de acceso analógico (FDMA) [6]. La primera categoría de las tecnologías de comunicación radio incluye los sistemas inalámbricos analógicos y digitales que complementan, y en algunos casos sustituyen por completo a la telefonía tradicional. Esta categoría engloba, sin duda el sistema de telefonía inalámbrica, CT (Cordless Telephone) en sus versiones CT0, CT1, CT2 y el sistema DECT (Digital European Cordless Telephone) [6]. El propósito de los sistemas antes mencionados es reemplazar la línea de abonado de cable y permitir la movilidad dentro de una zona limitada [2]. La segunda categoría está representada por sistemas celulares tanto analógicos como digitales (más en el módulo denominado simplemente como celular) que constituyen la infraestructura de red radio móvil. Como ejemplo, los sistemas de primera generación (que son analógicos) se denotan como NMT (Nordic Mobile Telephone) [21]. Posteriormente, se desarrollaron los sistemas de segunda generación (digital) como el GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles, "Global System for Mobile Communication"), más tarde los sistemas de tercera generación conocidos como UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), y finalmente, como por los sistemas de la 4ª generación como LTE-A (Long Term Evolution-Advance).

En cuanto a la tercera categoría, integra la tecnología inalámbrica que se utiliza para cumplir con los requerimientos y necesidades de los usuarios en las redes de datos, ya sean personales PAN (Personal Area Network), locales LAN (Local Area Network), metropolitanas MAN (Metropolitan Area Network) y de área extendida WAN (Wide Area Network). Esto incluye el estándar IrDA, el protocolo Bluetooth y la tecnología basada en el estándar 802.11x, WLAN (Wireless Local Area) e HIPERLAN (High Performance Local Area Network), que es una alternativa europea para IEEE 802.11 [2]. La cuarta categoría contempla tecnologías que proporcionan lo que se denomina paginación llamada. El término representa los sistemas que prestan servicios de contacto radio. Algunos sistemas de paginación son el sistema europeo ERMES (European Radio Message System) y RDS (Radio Data System) [6].

La quinta y ultima categoria, aunque es un poco especifica, son las comunicaciones por satellite. No es un sistema de acceso en el sentido estricto debido a que su cobertura incluye una fraccion sustancial de la superficie terrestre. Son redes de particular importancia para la cobertura marina y la aviacion y para las zonas inaccesibles, poco pobladas. Como representante de esta categoria se pueden mencionar los sistemas analogicos y digitales como INMARSAT (International Mobile Satellite Organization), Iridium o Globalstar [2].

Los sistemas de posicionamiento por satellite constituyen una categoria complementaria. Esto incluye, en particular, el sistema americano GPS (Global Positioning System), el sistema europeo emergente denominado Galileo y el sistema ruso GLONASS [6]. Todos estos sistemas se abrevian como GNSS (Global Navigation Satellite System). La figura 2.2 muestra una lista clasificada de todas las tecnologias utilizadas para la comunicacion movil

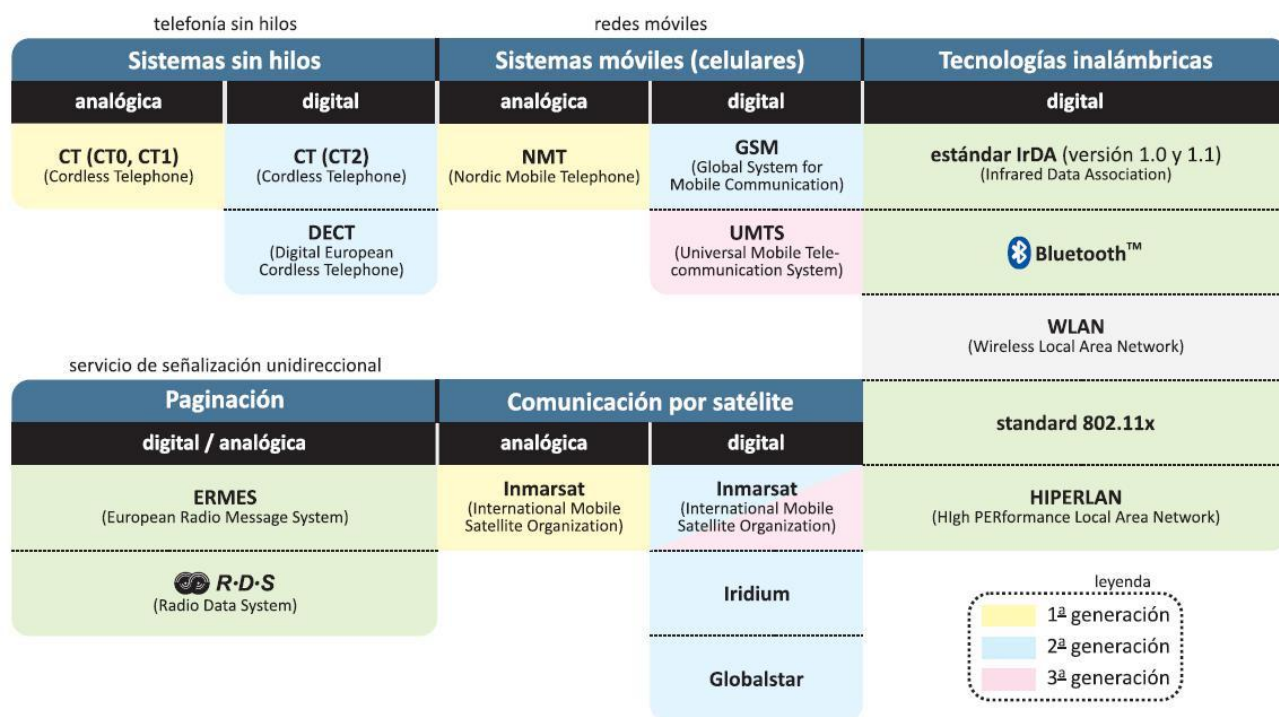


Figura 2.2: Descripción general de las tecnologías empleadas en comunicaciones móviles [6]

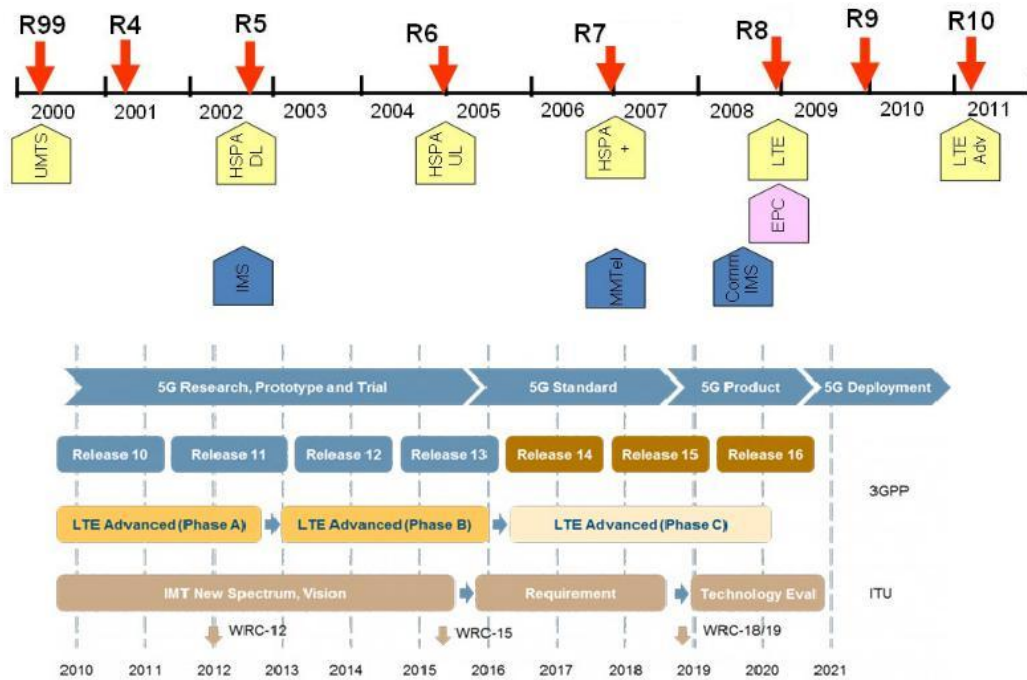


Figura 2.3: Evolucion de los estandares desde 3G a 5G [6]

Apartir esta realidad se desarrollaron estandares conocidos como releases ver gura 2.3 que propulsaron un crecimiento acelerado sostenible de la telefonia movil y generando una linea de tiempo [6] :

1. La tecnolog a de telecomunicacion inalambrica 1G o primera generacion consta de varios estandares, entre los que los mas populares fueron el servicio avanzado de telefon a movil (AMPS), el telefono movil nordico (NMT), el sistema de co-municacion de acceso total (TACS). Todos los estandares en 1G usan tecnicas de modulacion de frecuencia para se~nales de voz y todas las decisiones de traspaso se tomaron en las estaciones base. El espectro dentro de la celda se dividio en el numero de canales y cada llamada se asigna a un par de canales dedicados [6].

NMT-TELEFONIA MOVIL NORDICA La red de telefon a movil NMT se creo en 1981 como respuesta a la creciente congestion y a los grandes req-uisitos de ARP (auto radio puhelin o telefono de radio para automovil). NMT se baso en tecnolog a analogica y se desarroll en dos versiones; NMT

450 y NMT 900. Los numeros indican las bandas de frecuencia utilizadas. Este estandar especificaba la facturación y el roaming, pero sus especificaciones carecían de seguridad ya que el tráfico no estaba encriptado. Esta omisión hizo que las comunicaciones fueran vulnerables a las escuchas, ya que esto podía lograrse sintonizando un escaner con la frecuencia correcta. Las versiones posteriores de las especificaciones NMT de n añaden encriptación analógica opcional que se basaba en la inversión de frecuencia de audio de dos bandas. Los tamaños de celda en una red NMT varían de 2km a 30km. NMT uso transmisión full duplex, permitiendo la recepción y transmisión simultáneas de voz. La sincronización entre la estación base y la estación móvil se implementó utilizando el mismo canal de RF que se usó para el audio, y utilizando el modem FFSK de 1200bps. Esto causó las ráfagas de ruido cortas periódicas que eran características únicas del sonido NMT [6].

AMPS- ADVANCE TELEFONO MOVIL SERVICE? AMPS se basó en la tecnología FDMA (acceso múltiple por división de frecuencia), que permitía a múltiples usuarios en un sector celular o celular. Inicialmente, el tamaño de la celda no fue fijo y se usó un radio de ocho millas en áreas urbanas y un radio de veinticinco millas en áreas rurales. Sin embargo, a medida que el número de usuarios comenzó a aumentar, se agregaron nuevas celdas. Con la adición de cada celda nueva, el plan de frecuencias debía rehacerse para poder evitar problemas relacionados con la interferencia. Excepto por la capacidad limitada, también hubo problemas de seguridad. Por ejemplo, si alguien pudiera obtener el código de serie de otra persona, sería posible hacer llamadas ilegales. Aunque se hicieron esfuerzos para abordar estos problemas, especialmente los relacionados con la capacidad, los resultados no fueron suficientes y la industria comenzó a buscar otras opciones, como los sistemas digitales de próxima generación [6].

TACS- SISTEMA DE COMUNICACION DE ACCESO TOTAL El TACS era similar al AMPS y funcionaba en el rango de frecuencias de 900MHz.

2. GSM (Global System for Mobile Communication) : Es un sistema de comunica-

ciones moviles digital que constituye la segunda generacion de sistemas moviles y se introdujo a principios de la decada de 1990. Puede ser caracterizado como un sistema movil celular digital de telefon a por radio. Se introdujeron tecnolog as digitales de acceso multiple (como TDMA y CDMA) que mejoraron la calidad de los servicios de voz existentes y agregaron otros nuevos como servicios de mensajes cortos, multimedia [6], as como roaming internacional permitiendo al cliente ir de un lugar a otro y presenta las siguientes características :

GSM fue la primera Tecnologia en facilitar voz y datos digitales con velocidades de 14kbps a 64 Kbps.

Banda de frecuencia - 850 - 1900 MHz (GSM) y 825 - 849 MHz (CDMA).

Ancho de banda / canal - GSM divide cada canal de 200 kHz en bloques de 25 kHz El canal CDMA es nominalmente de 1,23 MHz.

Multiplexacion / Tecnologia de acceso - TDMA y CDMA. Conmutacion : Conmutacion de circuitos.

Estandares : GSM (Sistema Global para Comunicaciones Moviles), IS-95 (CDMA) - utilizado en America y partes de Asia), JDC (Celular Digital Japones) (basado en TDMA), utilizado en Japon, iDEN (basado en TDMA) , red de comunicacion propietaria utilizado por Nextel en los Estados Unidos.

Servicios: Voz Digital, SMS, roaming internacional, conferencia, llamada en espera, retencion de llamada, transferencia de llamadas, bloqueo de llamadas, numero de identificacion de llamadas, grupos cerrados de usuarios (CUG), servicios USSD, autenticacion, facturacion basada en los servicios prestados a sus clientes, por ejemplo, cargos basados en llamadas locales, llamadas de larga distancia, llamadas con descuento, en tiempo real de facturacion.

Generacion 2.5 Introduccion de la red de paquetes para proporcionar transferencia e Internet de alta velocidad de datos :

{ A~no : 2000- 2003

{ Estandares : Servicio General de Paquetes de Radio (GPRS) y EDGE (Velocidades de datos mejoradas en GSM)

- { Frecuencia : 850 -1900 MHz
- { Velocidad : 115kpbs (GPRS) / 384 kbps (EDGE)
- { Conmutacion : Conmutacion de paquetes para la transferencia de datos
- { Multiplexacion : desplazamiento m nimo gaussiano keying-GMSK (GPRS) y EDGE (8-PSK)
- { Servicios : Pulsar para hablar, multimedia, informacion basada en la web de entretenimiento, soporte WAP, MMS, SMS juegos moviles, busqueda y directorio, acceso a correo electronico, videoconferencia.

3. La tercera generacion de sistemas moviles es conocida como UMTS. Se trata de sistemas digitales operan en las bandas de 2 GHz e integran diferentes tecnolog as de acceso inalambrico con capacidad de ofrecer una amplia variedad de servicios multimedia con calidad garantizada. Apunta a datos a velocidades mas altas para abrir las puertas para una verdadera "banda ancha movil"[6].El objetivo de los sistemas 3G fue ofrecer aumento de las tasas de datos, facilitar el crecimiento, mayor capacidad de voz y datos, soporte a diversas aplicaciones y alta transmision de datos a bajo coste. Los datos se env an a traves de la tecnolog a de una tecnolog a llamada Packet Switching. Las llamadas de voz se traducen mediante conmutacion de circuitos.

Estandares:

- { UMTS (WCDMA) basado en GSM (Global Systems for Mobile) infraestructura del sistema 2G, estandarizado por el 3GPP.
- { CDMA 2000 basado en la tecnolog a CDMA (IS-95) estandar 2G, estandarizada por 3GPP2.
- { Interfaz de radio TD-SCDMA que se comercializ en 2009 y solo se ofrece en China.

Velocidad: 384KBPS 2Mbps

Frecuencia: aproximadamente 8 a 2,5 GHz

Ancho de banda: de 5 a 20 MHz

Tecnolog as de multiplexacion y acceso

Interfaz de radio llamada WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access)

HSPA es una actualización de W-CDMA que ofrece velocidades de 14,4 Mbit / s de bajada y 5,76 Mbit / s de subida.

HSPA + puede proporcionar velocidades de datos pico teóricas de hasta 168 Mbit / s de bajada y 22 Mbit / s de subida.

CDMA2000 1X : Puede soportar tanto servicios de voz como de datos. La máxima velocidad de datos puede llegar a 153 kbps

Servicios : teléfono móvil de voz, acceso a Internet de alta velocidad, acceso inalámbrico a Internet, llamadas de video, chat y conferencias, televisión móvil, video a la carta, servicios basados en la localización, telemedicina, navegación por Internet, correo electrónico, buscapersonas, fax y mapas de navegación, juegos, música móvil, servicios multimedia, como fotos digitales y películas. servicios localizados para acceder a las actualizaciones de tráfico y clima, servicios móviles de oficina, como la banca virtual [6].

4. La Cuarta Generación (4G) se denota como LTE-A, brinda acceso a una amplia gama de servicios de telecomunicaciones, incluidos servicios móviles avanzados, soportados por redes móviles y fijas, que están cada vez más basados en paquetes, junto con un soporte para aplicaciones de movilidad baja a alta, una amplia gama de velocidades de datos y bajo retardo para diversos tipos de servicios. 4G está basado totalmente en IP, su objetivo principal de la tecnología 4G es proporcionar alta velocidad, alta calidad, alta capacidad, seguridad y servicios de bajo costo para servicios de voz y datos, multimedia e internet a través de IP. Para usar la red de comunicación móvil 4G, los terminales de los usuarios deben ser capaces de seleccionar el sistema inalámbrico de destino [6]. Para proporcionar servicios inalámbricos en cualquier momento y en cualquier lugar, la movilidad del terminal es un factor clave en 4G.

Inicio : años de 2010. En 2008, la UIT-R especifica los requisitos para los sistemas 4G



Estandares : Long-Term Evolution Time-Division Duplex (LTE-TDD y LTE-FDD) estandar WiMAX movil (802.16m estandarizado por el IEEE)

Velocidad : 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps cuando se permanece inmovil. Telefon a IP

Nuevas frecuencias, ancho de banda de canal de frecuencia mas amplia.

Tecnolog as de multiplexacion / acceso - OFDM, MC-CDMA, CDMA y LAS-Red-LMDS

Ancho de Banda : 5-20 MHz, opcionalmente hasta 40 MHz

Bandas de frecuencia : LTE cubre una gama de diferentes bandas. En America del Norte se utilizan 700, 750, 800, 850, 1900, 1700/2100 (AWS), 2300 (WCS) 2500 y 2600 MHz (bandas 2, 4, 5, 7, 12, 13, 17, 25, 26 , 30, 41); 2500 MHz en America del Sur; 700, 800, 900, 1800, 2600 MHz en Europa (bandas 3, 7, 20); 800, 1800 y 2600 MHz en Asia (bandas 1, 3, 5, 7, 8, 11, 13, 40) 1800 MHz y 2300 MHz en Australia y Nueva Zelanda (bandas 3, 40).

Servicios : acceso movil web, telefon a IP, servicios de juegos, TV movil de alta definicion, videoconferencia, television 3D, computacion en la nube, gestion de videos multiples de difusion y movimientos rapidos de telefonos moviles, Digital Video Broadcasting (DVB), acceso a informacion dinamica, dispositivos portatiles [2].

5. La Quinta Generacion deber a ser una tecnolog a mas inteligente que interconecta todo el mundo. Se inicia en el 2015, donde la capa fisica y de enlace de datos de la tecnolog a inalambrica 5G indicando que es una tecnolog a Open Wireless Architecture (OWA). Para realizar esto, la capa de red esta subdividida en dos capas; capa de red superior para el terminal movil y un menor nivel de red para la interfaz. Aqu todo el enrutamiento se basa en direcciones IP que ser an diferentes en cada red IP en todo el mundo. En la tecnolog a 5G la perdida de velocidad de bits se supera mediante el Protocolo de Transporte Abierta (OTF). El OTF es soportado por Transporte y capa de sesion. La capa de aplicacion es para la calidad de la gestion de servicio a traves de varios tipos de redes. 5G adelanta un verdadero mundo inalambrico Wireless-World Wide Web (WWWW) [10].



Velocidad : 1 a 10 Gbps.

Ancho de Banda : 1.000x ancho de banda por unidad de superficie.

Frecuencia : 3 a 300 GHz

Tecnologías de multiplexación / Access - CDMA y BDMA

Estandares : banda ancha IP LAN / WAN / PAN & WWW

Características: rendimiento de tiempo real : de respuesta rápida, de baja fluctuación, latencia y retardo Muy alta velocidad de banda ancha : velocidades de datos Gigabit, cobertura de alta calidad, multi espectro

Infraestructura virtualizada : Software de red de núcleo, sistema de costes escalable y bajo.

Soporta Internet de las Cosas y M2M - 100 veces mas dispositivos conectados, Cobertura en interiores y eficiencia de señalización.

Reducción de alrededor del 90% en el consumo de energía a la red.

Su tecnología de radio facilitar versión diferente de las tecnologías de radio para compartir el mismo espectro de manera eficiente.

Servicios : Algunas de las aplicaciones son importantes - personas y dispositivos conectados en cualquier lugar en cualquier momento. Su aplicación hará que el mundo real sea una zona Wi Fi. Dirección IP para móviles asignada de acuerdo con la red conectada y la posición geográfica. Señal de radio también a mayor altitud. Múltiples servicios paralelos, con los que se puede saber el tiempo meteorológico y en tu posición geográfica mientras hablas. La educación será más fácil. Un estudiante que se sienta en cualquier parte del mundo puede asistir a la clase. El diagnóstico remoto es una gran característica de 5G. Un Médico puede tratar al paciente situado en la parte remota del mundo. El seguimiento será más fácil, una organización gubernamental y otros investigadores pueden monitorear cualquier parte del mundo. Se hace posible reducir la tasa de criminalidad. La visualización del universo, galaxias y planetas serán posibles. Posible también detectar más rápidamente desastres naturales incluyendo tsunamis, terremotos, etc [6].

6. La Sexta Generacion de redes de comunicaciones moviles puede integrar las redes de comunicaciones satelitales y 5G para lograr cobertura global, la cual es mostrada en la Figura 15. Las redes de comunicaciones satelitales consisten en redes satelitales de navegacion, redes satelitales de telecomunicaciones y redes satelitales de toma de imagenes Terrestres[7]. Las redes de satelitales de navegacion son usadas para posicionamiento global, las redes satelitales de telecomunicaciones son usadas para telefon a global, video multimedia y conectividad Internet de alta velocidad, y las redes satelitales de toma de imagenes terrestres son usadas para monitoreo de recursos e informacion meteorologica. Los objetivos clave para 6G son integrar estos tres tipos de redes satelitales para proveer identificacion de posicion, conectividad multimedia e internet, y servicios de informacion meteorologica para usuarios moviles [2].
7. La Septima Generacion (7G) Sistemas de Roaming/hando Espacial : El sistema 7G puede ser soportado por el sistema satelital de navegacion global, el sistema satelital de telecomunicaciones, el sistema satelital de toma de imagenes Terrestres y el sistema celular 6G. Los sistemas satelitales de navegacion global esencialmente determinan la posicion del usuario. El sistema satelital de telecomunicaciones puede suministrar los datos de voz y multimedia para los requerimientos de comunicacion de los usuarios. El sistema satelital de toma de imagenes terrestres contiene la informacion meteorologica como un servicio extra para los usuarios moviles. Y los sistemas de redes celulares 6G pueden ser un sistema de red local inalambrica para suministrar servicios locales de datos de voz y multimedia. Comparando con los satelites, las estaciones base celulares son mucho mas baratas y estables. Los satelites son muy costosos para moverlos y cubrir grandes areas, De hecho, estos satelites estan en constante movimiento a velocidades de aproximadamente 7000 millas/hora, los cuales hacen dos orbitas completas en menos de 24 horas. As , el hando /roaming debe ocurrir entre cada satelite. Ademias, dos sistemas satelitales diferentes son necesarios para hando /roaming cuando los usuarios moviles se trasladan de un pa s a otro. Este tipo de hand-o /roaming es hando /roaming espacial [6].

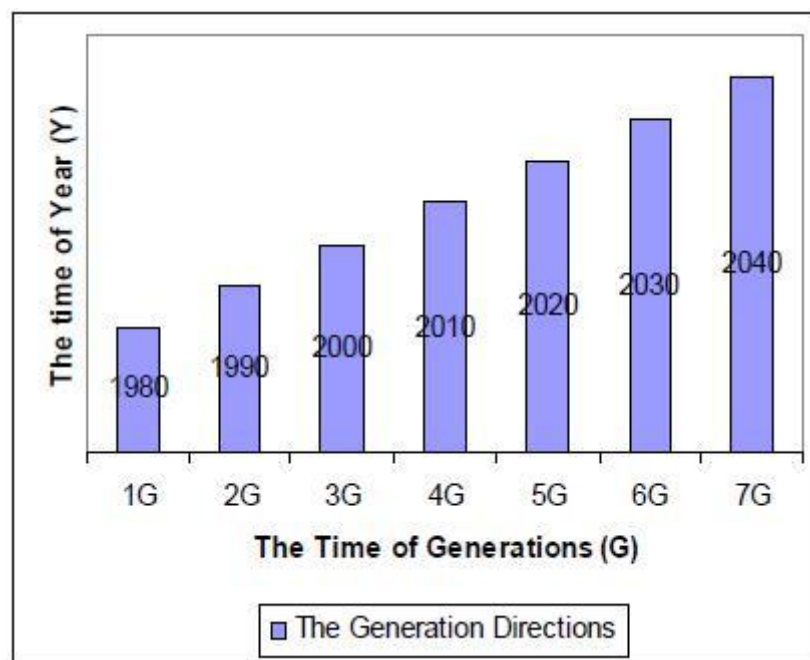


Figura 2.4: Tendencia de Evolucion de los sistemas de comunicacion movil [6]

# CAPITULO 3

## Comunicaciones Moviles 2G

La tecnología de comunicaciones móviles de segunda generación o 2G se introdujo a principios de la década de 1990 como la primera generación de tecnologías de radio digital y un estándar utilizado a nivel mundial por la mayoría de operadores celulares. Esos servicios de datos de conmutación de circuitos se desarrollaron como un reemplazo para las redes celulares analógicas 1G, ya que podrían ofrecer más beneficios para los suscriptores. Esta tecnología de radio comunicaciones móviles se denominó GSM (Global System for Mobile Communication) [6].

GSM está destinado para comunicaciones de media, larga distancia, digital, móvil y celular, lo interesante del sistema es que nos proporciona servicios de datos SMS (Short Message Services) y MMS (Multimedia Message Services), e incluye integración de servicios. Este sistema nos proporciona una calidad de audio que ayuda a la calidad de la comunicación, que en comparación con 1G brinda una mejor calidad de voz incluso en bajas velocidades de bits y el roaming internacional es una de las armas poderosas con la que cuenta este sistema, especialmente utilizado por los suscriptores itinerantes de negocios que constantemente viajan al exterior [2]. El sistema GSM nos proporciona los siguientes servicios:

El envío de voz encriptada y autenticación de usuarios.

La posibilidad de realizar una llamada de emergencia en forma gratuita y con cualquier compañía de que tenga cobertura.

El servicio de mensajes cortos (SMS) y multimedia (MMS) enviados por canales independientes de se~nalizacion.

Envio y recepcion de fax digital.

Roaming internacional, el usuario accede de manera automatica a este servicio mediante convenio internacional de operadoras.

Ademas de estos servicios existen los servicios portadores, dentro de los que se pueden incluir la transmision de datos a 9600 bits por segundo (bps), aunque con el desarrollo que han sufrido los terminales en los ultimos a~nos esta tasa de velocidad puede alcanzar valores superiores a los 64Kbps mediante la agrupacion de canales.

### 3.1 Sistema GSM

GSM es la abreviatura de 'Sistema Global para las comunicaciones Moviles' (en ingles, Global System for Mobile communications). A comienzos del siglo XXI, es el estandar mas utilizado de Europa. Conocido como estandar de segunda generacion (2G), su principal diferencia respecto a la primera generacion de telefonos moviles es que sus comunicaciones son totalmente digitales [6].

El estandar GSM fue desarrollado a partir de 1982, cuando fue estandarizado por primera vez, denominado "Groupe Special Mobile". Surgio como idea para el desarrollo de un estandar europeo de telefon a movil digital. En 1991 se convirti en un estandar internacional llamado "Sistema Global de Comunicaciones Moviles", y comenzaron a presentarse los primeros prototipos de telefon a GSM [2].

En Europa, el sistema GSM utiliza las bandas de frecuencia de 850, 900 y 1800 MHz, mientras que en los Estados Unidos se usa la banda de frecuencia de 1900 M Hz. En consecuencia, los dispositivos de comunicaciones moviles que pueden operar tanto en Europa como en Estados Unidos se conocen como cuatribanda (Quadband) [19].

El estandar GSM permite transmisiones digitales de voz y datos, como mensajes de texto (SMS) o mensajes multimedia (MMS).Respecto a su arquitectura de red, en GSM todo terminal movil debe estar constituido por una tarjeta SIM (Modulo de identificacion de abonado) y el propio dispositivo, normalmente un telefono movil [6]. La

tarjeta SIM es la encargada de identificar en la red al usuario y al terminal móvil. Estos dispositivos se identifican gracias a un número exclusivo de identificación denominado IMEI (Identificador internacional de equipos móviles), compuesto por 15 dígitos. Por otro lado, cada tarjeta SIM también posee un número de identificación único denominado IMSI (Identificador internacional de abonados móviles) [6].

### 3.1.1 Estandares 2G

Los estándares 2G se basaron en comunicaciones digitales, tanto en la ruta de radio como entre entidades de red. Los procesos implementados para la estandarización 2G tienen como objetivo hacer que la noción de itinerancia global fuera más realista, ya que en 1G se limitaba a los estándares nacionales y no podía ofrecer dichos servicios más allá de las fronteras nacionales. Las aplicaciones básicas operan en la banda de 900 MHz [6]. El incremento del tráfico de datos dio lugar al desarrollo de otras versiones con múltiples bandas de frecuencia. Así pues, hay tres estándares, que difieren principalmente en el rango de frecuencia utilizado y en el número de canales asignados:

GSM 900 : Banda de frecuencias de 900 MHz, capacidad máxima de 2x124 canales, ancho de banda de 2,25 MHz.

GSM 1800 : Banda de frecuencia de 1800 MHz, capacidad máxima de 2 374 canales, ancho de banda de 2,75 MHz.

GSM 1900 : Banda de frecuencias de 1900 MHz, capacidad máxima de 2 298 canales, ancho de banda de 2,75 MHz.

El sistema GSM 1800 no aportó ninguna innovación tecnológica de primera magnitud, pero permitió aumentar la cobertura especialmente en las ciudades [6]. Por lo general, hay macroceldas combinadas de GSM 900 con microceldas de GSM 1800, con el fin de proporcionar servicios en las zonas con alta concentración de usuarios (tales como centros comerciales o centros de la ciudad). Su asignación de bandas de frecuencia utilizadas por GSM 1800 en el continente europeo se muestra en la siguiente figura 3.1.

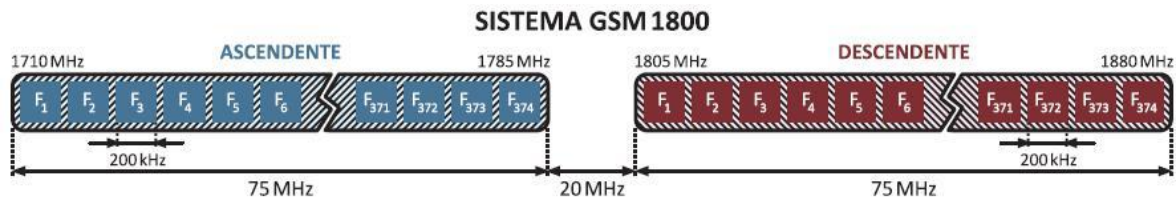


Figura 3.1: Bandas de frecuencias utilizadas por los sistemas GSM 1800 y su separación [6]

Las tecnologías de segunda generación se desarrollaron principalmente en cuatro estándares (GSM, D-AMPS, cdmaOne y PDC):

**GSM (ORIGINALMENTE GROUPE SPECIAL MOBILE) :** GSM es un estándar desarrollado por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (Euro-pean Telecommunications Standards Institute, ETSI) para describir los protocolos de red de Segunda Generación. En 1991, GSM fue el primer sistema celular digital operado comercialmente y fue diseñado para proporcionar servicios como correo de voz, mensajes de texto, roaming internacional, llamadas prepagas, SMS y muchas otras alternativas de comunicación de bajo costo que mejoran su popularidad hasta hoy. Los primeros sistemas GSM usaban un espectro de frecuencias de 25 MHz en una banda de 900 MHz. Este espectro luego se divide en 124 frecuencias portadoras de 200 KHz cada una. Se comparten un solo canal de 200 KHz entre ocho usuarios asignando un intervalo de tiempo único para cada uno de ellos. GSM funciona en varias frecuencias de radio, la mayoría de ellas operando a 900MHz y/o 1800MHz. El radio de la red GSM varía según la altura de la antena, las ganancias de la antena, las condiciones de propagación, etc. Estos factores varían el tamaño de la celda desde un par de cientos de metros hasta unos pocos kilómetros. Debido al tamaño de la celda se clasifican en cuatro tipos en redes GSM; macro, micro, pico y paraguas, con macrocélulas siendo las más grandes y pico y las celdas de paraguas son las más pequeñas [6].

**D-AMPS (SISTEMA DE TELEFONO MOVIL AVANZADO DIGITAL) :** D-AMPS, también conocido como Is-TDMA es una versión digital de la tecnología AMPS de primera generación popular en América del Norte (USA). También es

compatible con versiones anteriores de AMPS, que se encuentra entre las populares tecnologías móviles 1G.

CdmaOne : CdmaOne o IS 95 es una tecnología popular en Corea y los Estados Unidos, que ofreció una dura competencia a la tecnología GSM. A diferencia de otros estándares que se basan en técnicas acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) o acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA), CdmaOne se basa en la tecnología de acceso múltiple por división de código (CDMA) [2].

PDC (COMUNICACION DIGITAL PERSONAL) PDC es un estándar que se hizo popular en Japón y operaba entre 800 MHz y 1500 MHz de frecuencias.

### 3.1.2 Tecnología de acceso múltiple

Uno de los principales desafíos que los Sistemas de Segunda Generación tuvieron que superar fue el aumento de la capacidad de la red. En particular, tal aumento significaría el soporte simultáneo de usuarios activos dentro de la región atendida por una torre de radio. Esto se logra mediante el uso de técnicas TDMA y CDMA que son ambas tecnologías de acceso múltiple y a continuación se describe [6].

TDMA o la tecnología de acceso múltiple por división de tiempo es un método que está diseñado para admitir a muchos usuarios de forma simultánea al dividir la señal en diferentes intervalos de tiempo. Esto se logra dividiendo primero la frecuencia y luego cortando cada una de ellas en el tiempo. De esta forma, una frecuencia se puede compartir entre diferentes usuarios, literalmente, aunque se turnan. En la técnica TDMA, de acuerdo con el gráfico 3.2, la frecuencia se divide en X intervalos de tiempo y cada uno de ellos está dedicado a un usuario específico.

En particular, cada canal de datos está pasando por el proceso de codificación, los datos para múltiples usuarios van a combinarse y multiplexarse juntos y luego transmitirse a través del modulador. Entonces, cada frecuencia se transmite por el aire a través del sistema de antena.

CDMA o Acceso múltiple por división de código se basa en tecnología de espectro "extendido". Dado que es adecuado para transmisiones cifradas, se ha utilizado



durante mucho tiempo para nes militares. CDMA aumenta la capacidad del espectro al permitir que todos los usuarios ocupen todos los canales al mismo tiempo. Las transmisiones se extienden por toda la banda de radio, y a cada llamada de voz o datos se le asigna un codigo unico para diferenciarlo de las otras llamadas que se transmiten en el mismo espectro. CDMA permite una "transferencia suave", lo que signi ca que los terminales pueden comunicarse con varias estaciones base al mismo tiempo [6].

A diferencia de las otras dos tecnicas, FDMA y TDMA, en CDMA no hay division de frecuencia ni rangos de tiempo . Hay diferentes canales de datos, que como antes, pasan por el proceso de codi cacion donde se agrega redundancia a la secuencia de datos. A continuacion, se lleva a cabo el proceso de multiplexacion y se multiplican y combinan diferentes se~nales de diferentes canales. Se crea nuevamente un modulador, en este caso en la frecuencia 1, pero ahora la se~nal se ha extendido a traves de una banda mucho mas ancha antes de ser transmitida por el aire. En caso de que haya multiples portadoras de frecuencia, multiples sistemas CDMA podr an operar independientemente y transmitir a traves de un sistema de antena 3.2. Se pre ere esta tecnica ya que es mas eficiente espectralmente y ofrece una mayor capacidad [6].

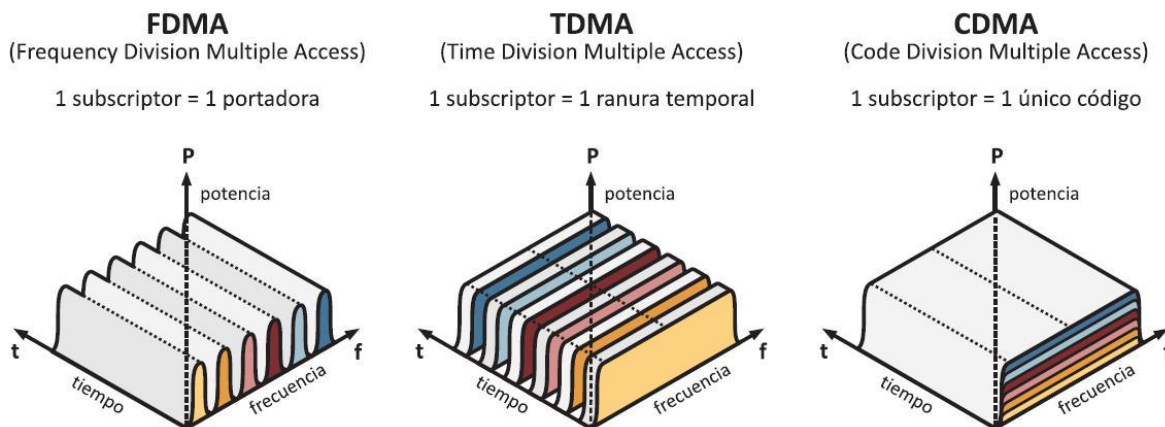


Figura 3.2: Metodos de acceso multiple [6]

### 3.1.3 Infraestructura de red

Un sistema móvil de red tiene dos componentes principales: la infraestructura (red) y los suscriptores móviles, que utilizan los servicios de la red. La red instalada puede subdividirse nuevamente en tres subredes: redes de radio, red de conmutación móvil y red de gestión [6, 2]. Estas subredes se llaman subsistemas. Los tres subsistemas respectivos son:

Subsistemas de estaciones base (BSS)

Subsistema de conmutación y gestión (SMSS)

Subsistemas de operación y gestión (OMSS)

De acuerdo con el gráfico 3.3, el sistema 2G se puede dividir en tres partes: El BSS (subsistema de la estación base o la red de radio), el NSS que es el subsistema de la estación de red y finalmente la parte de los servicios. El sistema GSM está compuesta por múltiples estaciones base (BTS), que a su vez, se conectan a un controlador de estaciones base (BSC), encargado de la administración de la red [6]. A este sistema compuesto por el BSC y sus correspondientes estaciones base conectadas al mismo, se le conoce como BSS (Subsistema de estaciones base), los cuales se describe a continuación:

1. Esto comprende el controlador de la estación base (BSC) y la estación transceptora base (BTS). El subsistema de la estación base es responsable de manejar el tráfico y la señalización entre el sistema móvil (MS) y el subsistema de conmutación de red (NSS) [6]. También lleva a cabo la transcodificación de voz, la asignación de canales de radio a teléfonos móviles, búsquedas de personas, transmisión y recepción a través de la red de radio. Para ser más específico;

BTS o Base Transceiver Station contiene el equipo que es responsable de recibir y transmitir las señales de radio, las antenas y el equipo para cifrar y descifrar las comunicaciones. Un BTS es controlado por un BSC padre.

El BSC 3.4, el controlador de estación base maneja la asignación de canales de radio, recibe mediciones de los teléfonos móviles y controla el traspaso

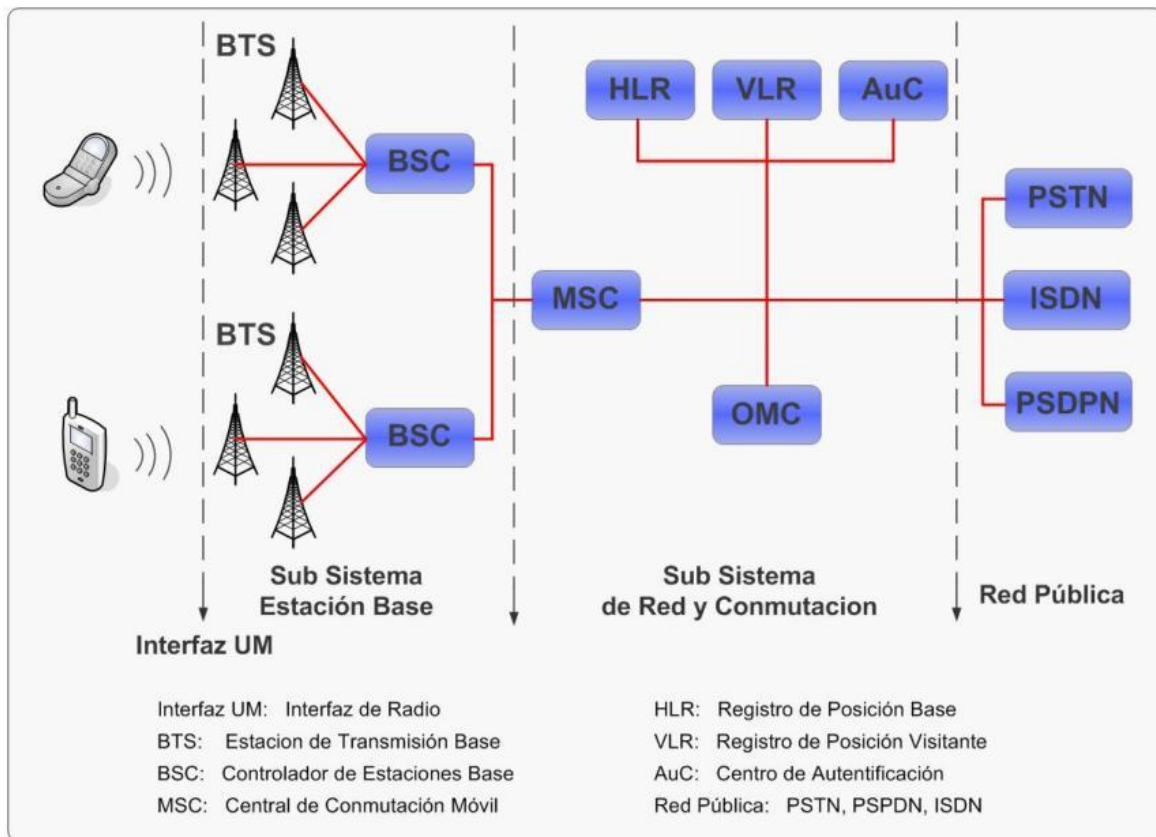


Figura 3.3: Red de comunicacion GSM [6]

de BTS a BTS. Una función clave del BSC es actuar como un concentrador donde muchas conexiones de baja capacidad diferentes a BTS (con una utilización relativamente baja) se reducen a un número menor de conexiones hacia el centro de conmutación móvil (MSC) (con un alto nivel de utilización).

En general, esto significa que las redes a menudo están estructuradas para tener muchos BSC distribuidos en regiones cercanas a sus BTS que luego se conectan a grandes sitios de MSC centralizados.

2. El subsistema de conmutación de red de GSM 3.4, es responsable de llevar a cabo funciones de conmutación de llamadas y gestión de la movilidad para el roaming de teléfonos móviles en la red de estaciones base. Es propiedad de los operadores de telefonía móvil y permite que los dispositivos móviles se comuniquen entre ellos y los teléfonos en la red telefónica pública conmutada (PSTN) más amplia. La arquitectura contiene características y funciones específicas que son necesarias porque los teléfonos no están fijos en una ubicación. En particular, consta de las bases de datos HLR, VLR, EIR y AuC y el conmutador MSC.

HLR o Home Location Register es la base de datos central que proporciona información sobre los suscriptores de teléfonos móviles que están autorizados a usar la red GSM. La clave principal de esta base de datos es el campo que contiene IMSI, que significa Identidad de Suscriptor Móvil Internacional y es el identificador único de cada tarjeta SIM. Otro campo que también es una clave principal y es necesario para identificar a cada usuario es MSISDN (número de directorio de abonado internacional de estación móvil) que es el número de teléfono de cada usuario, utilizado por los teléfonos móviles para realizar y recibir llamadas. Otros datos que se almacenan en la base de datos HLR son los servicios GSM que el suscriptor ha solicitado o recibido, la información de la ubicación actual y los servicios de desvío de llamadas.

VLR o Visitor Location Register es la base de datos que proporciona información sobre los suscriptores de teléfonos móviles que utilizan servicios de roaming. Los datos que se almacenan en el VLR se reciben del HLR o se recogen de la MS (estación móvil). Algunos otros campos de esta base de

datos son IMSI, datos de autentificación, MSISDN, servicios GSM y dirección HLR. Cada vez que un MSC detecta una nueva estación móvil en el GSM, además de crear un nuevo campo en el VLR, también actualiza el HLR. En general, hay un HLR central por red móvil terrestre pública (PLMN) y un VLR por cada MSC.

AuC o Authentication Center es la base de datos en la que tiene lugar la autorización del usuario. En particular, proporciona las funciones mediante las cuales se autentifica cada tarjeta SIM. Si la autentificación es exitosa, el HLR puede administrar los servicios anteriores, de lo contrario, el suscriptor no puede tener acceso a estos servicios.

EIR o Equipment Identity Register es una base de datos cuya clave principal es el IMEI que identifica que los teléfonos móviles serán prohibidos o monitoreados. Esto está diseñado para permitir el seguimiento de teléfonos móviles robados, sin embargo, en la mayoría de los países no está en funcionamiento.

MSC o Mobile Switching Center es el principal nodo de entrega de servicios para GSM y es responsable de enrutar todos los servicios de voz o mensajes. También establece todas las conexiones de extremo a extremo, maneja la movilidad y el traspaso durante una llamada, contiene todas las reglas de carga y de política, y se encarga de la supervisión de la cuenta de prepago en tiempo real.

3. Subsistema de Soporte a la Operación (OSS Operation Support Subsystem) **3.4**, es responsable de la operación de BSS y NSS. Contiene principalmente un bloque de supervisión, ADC (Administrative Centre), que se encarga de las tareas administrativas (por ejemplo, informe de participación, facturación, etc.) [6], y un bloque de gestión global del flujo de información en la red NMC (Network Management Centre), y un bloque de operación y mantenimiento OMC (Operation and Maintenance Centre), que se encarga del mantenimiento y explotación de la red.

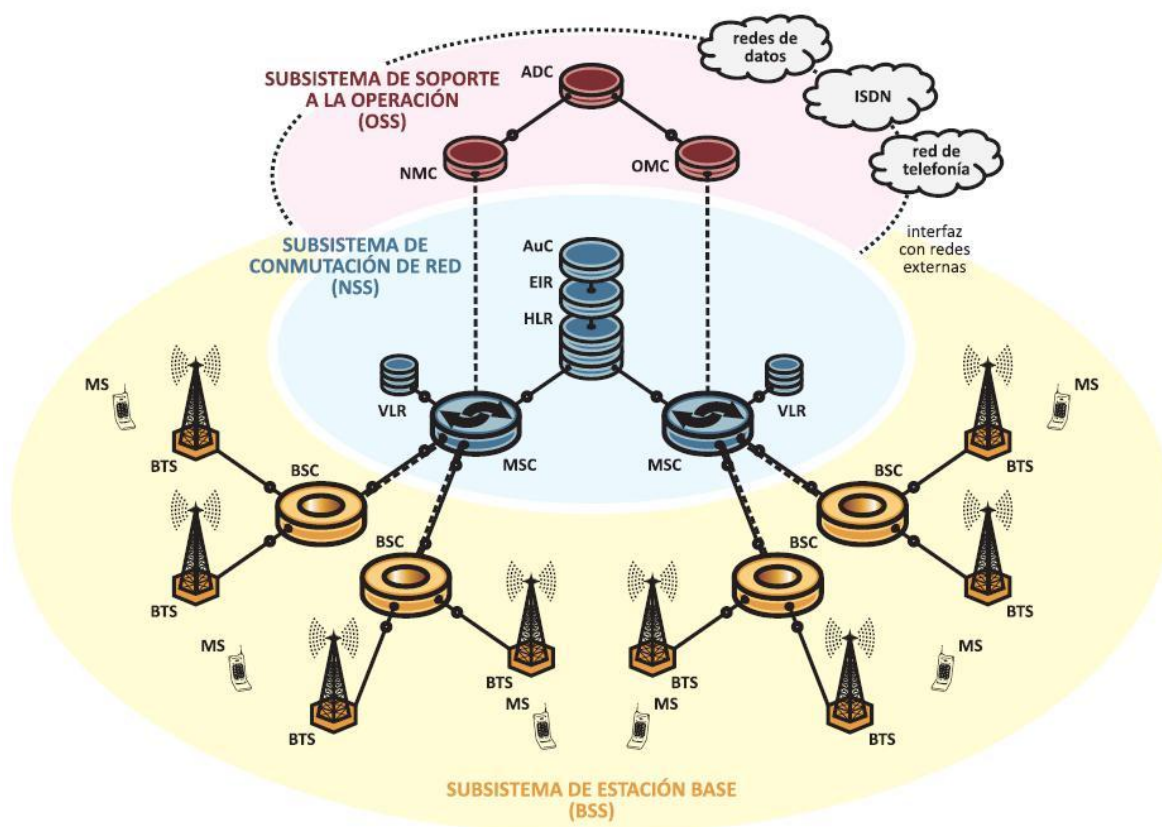


Figura 3.4: Arquitectura del sistema GSM [6]

### 3.1.4 Funcionalidad del terminal movil

El terminal movil (MS) se compone de las partes correspondientes a la transmision y recepcion, un microprocesador de control, la tarjeta SIM y otros accesorios (auricular, teclado, pantalla, etc.) como se aprecia en la gura 3.5 y se describe a continuacion [6]:

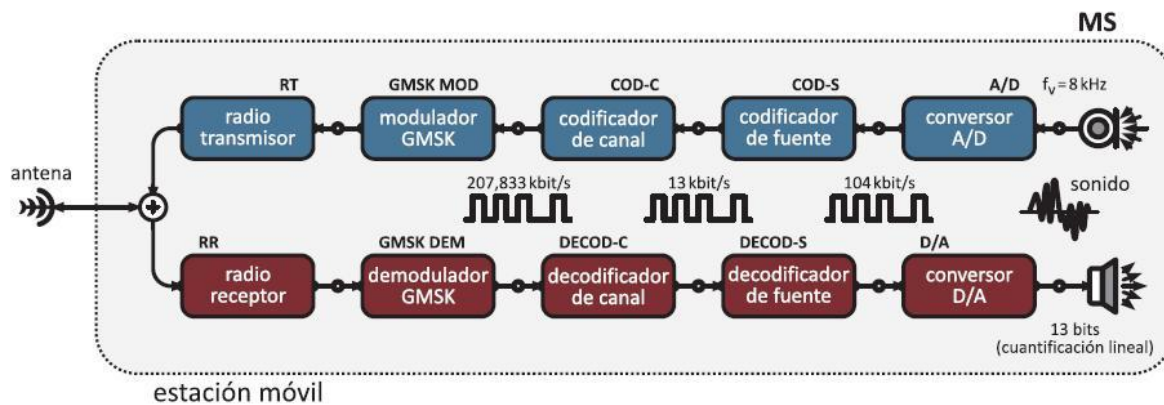


Figura 3.5: Esquema de bloques de un terminal movil [6]

La se~nal de voz analogica en la salida del microfono es digitalizada por un con-vertidor A/D utilizando PCM (8 kHz de frecuencia de muestreo, una muestra se representa con 13 bits, cuanti cacion lineal, velocidad de transmision de se~nal ( $V_p = 8000 \times 13 = 104 \text{ kbit/s}$ ). El siguiente bloque, codi cador de fuente COD-S (CODer of Source), se encarga de la s ntesis de voz y se realiza por el metodo de RPE (Regular Pulse Excitation) lo cual permite reducir la tasa de transmision a un valor  $v_p = 13 \text{ kbps}$  [6].

En el bloque codi cador de canal COD-C (CODer of Channel) se lleva a cabo la codi cacion de canal. Este proceso disminuye la probabilidad de error en la transmision de la se~nal. Adem as, se utilizan tecnicas de entrelazado, cuyo proposito es aumentar la robustez de la se~nal contra rafagas de errores. En el lado receptor, se aplican los procesos inversos, es decir, se invierte el entrelazado, y se realiza la descodi cacion de canal, obteniendo la secuencia original. Adem as, parte de la se~nal, que contiene informacion del usuario es cifrada con el n de



impedir que un usuario no autorizado pueda escuchar los datos transmitidos. Después de todas estas transformaciones, la tasa de transmisión de un canal de radio es  $v_p = 22; 8\text{ kbps}$ .

El siguiente paso es integrar la señal en una trama TDMA. La señal se modula en GMSK-MOD (Gaussian Minimum Shift Keying MODulator) y la velocidad de transmisión total es entonces  $v_p = 270; 833\text{ kbps}$  (tramas de capa física con una longitud de 156250 bits se transmiten todos los 0.577 ms).

Tras el procesamiento de señal en otros circuitos del transmisor de radio (RT), la señal es radiada por la antena del terminal móvil. En términos de potencia de transmisión, existen cinco clases de terminales, desde 0,1 a 20 W.

Una vez se recibe la señal, es transmitida desde la antena del terminal receptor hasta el bloque receptor de radio (RR). Se procesa en el demodulador (DEM) y en los dos decodificadores (de canal y de fuente, DECODING-C, DECODING-S). Finalmente, el convertidor D/A transforma la señal digital a señal analógica y se transmite al auricular [2].

### 3.1.5 Conectividad en GSM

#### 3.1.5.1 Conexión móvil a estación base

Para la transmisión de señales en las redes GSM 900 se reservan dos bandas de frecuencias con un ancho de 25 MHz y una separación de 45 MHz 3.6. La señal en la dirección de la estación base al terminal móvil se transmite en la banda de frecuencia de 935 MHz hasta 960 MHz. La señal en la dirección opuesta se transmite en la banda de 890 MHz hasta 915 MHz [6]. Los métodos de acceso se basan en una combinación de FDMA y TDMA. En ambas bandas de frecuencia, la banda se divide en 124 sub-bandas por FDMA (F1 a F124) con una anchura de 200 kHz. En cada sub-banda de frecuencia, los recursos de radio son divididos en 8 ranuras de tiempo (T1 a T8) mediante el uso de TDMA. Esto significa que el BTS puede ofrecer una capacidad total de hasta  $124 \cdot 8 = 992$  pares de canales utilizables, es decir, 992 circuitos de radio [2]. El sincronismo en GSM se obtiene a partir de la señal de reloj con frecuencia nominal



$f_t = 13\text{MHz}$ . La tasa de transmision basica es  $v_p = 13000000/48 = 270833,33\text{bps}$ . Una trama TDMA (incluyendo 8 ranuras de tiempo) tiene una duracion igual a 4,615 ms (la multi-trama se compone de 26 tramas y su duracion es igual a 120 ms).

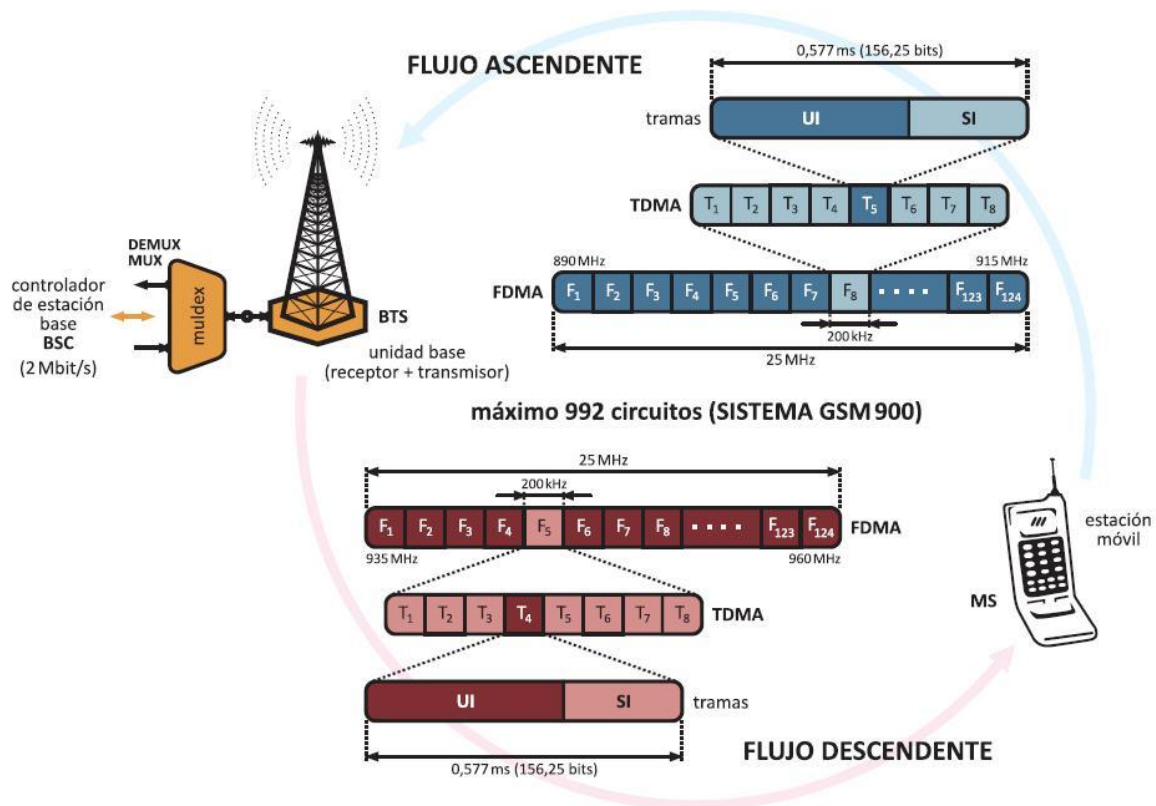


Figura 3.6: Conectividad móvil a estación base [2]

### 3.1.5.2 Desarrollo de llamadas en GSM

En la gura 3.7 se detalla un ejemplo de enrutamiento de llamadas para GSM. As , mismo se desarrolla en pasos los cuales se de nen :

Paso 1: Un usuario de telefon a llama a la unidad movil a traves de la red publica.

Paso 2: La llamada se enruta a un MSC, el que se encarga de examinar los d gitos marcados y determina que no puede enrutar la llamadas mas lejos.

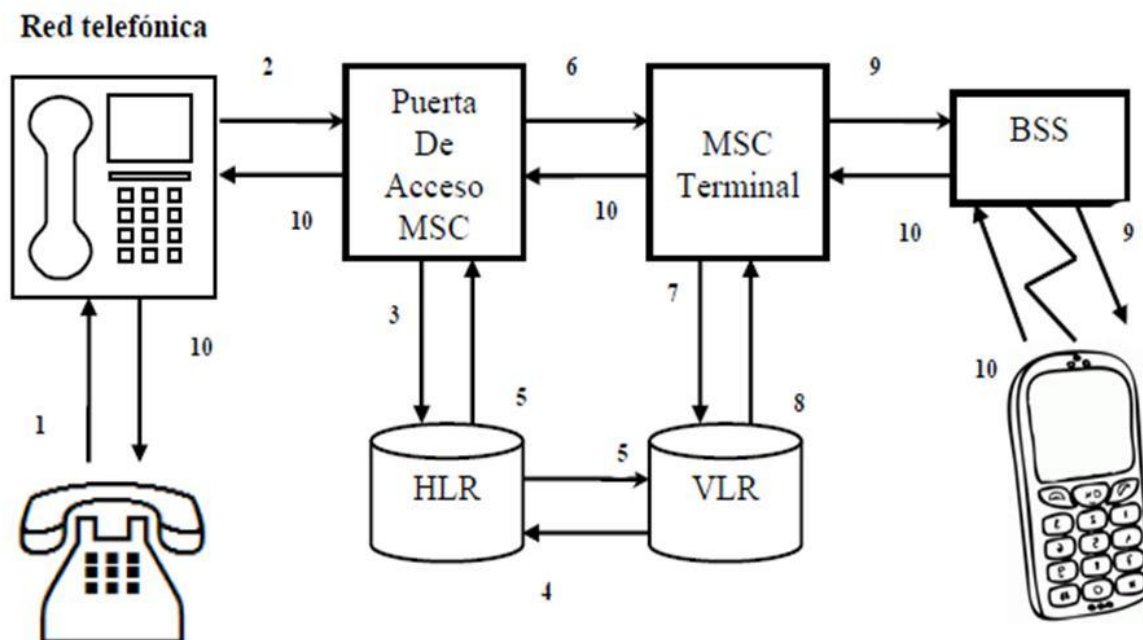


Figura 3.7: Enrutamiento de llamadas GSM [2]

Paso 3: El registro de ubicacion HLR interroga al usuario llamado.

Paso 4: El HLR interroga el registro de ubicacion del visitante VLR que actual-mente esta dando servicio al usuario.

Paso 5: El VLR devuelve un numero de enrutamiento al HLR que lo devuelve al MSC.

Paso 6: Con este numero de enrutamiento, el MSC enruta la llamada al MSC Terminal.

Paso 7: El MSC pide al VLR correlacionar la llamada con el subscriptor.

Paso 8: El VLR realiza la accion que se le solicite.

Paso 9: La BSS recibe una solicitud de noti cacion del MSC Terminal y env a una se~nal de noti cacion.

Paso 10: Cuando la se~nal de usuario regresa, la llamada se completa.

### 3.1.6 Limitaciones tecnologicas

Aunque los sistemas 2G trajeron un cambio importante en la forma en que se construyeron las redes moviles, ten an algunas limitaciones [6]. Algunos de los cuales son los siguientes:

Bajas tasas de transferencia. Las redes 2G estan dise~nadas principalmente para ofrecer servicios de voz a los suscriptores. Por lo tanto, las tasas de transferencia ofrecidas por estas redes son bajas. Aunque las tasas var an segun las tecnolog as, la tasa promedio es del orden de 10 Kbps.

Baja eficiencia para servicios conmutados por paquetes. Existe una demanda de acceso a Internet, no solo en el hogar o la oficina, sino tambien en itinerancia. El acceso inalambrico a Internet con las redes 2G no se implementa de manera eficiente.

Multiples estandares. Con una multitud de estandares en competencia, un usuario puede recorrer solo aquellas redes que soportan el mismo estandar. Esto permite al usuario solo roaming limitado. Por lo tanto, la tecnologia de red 2G era semi global a este respecto.

#### 3.1.6.1 Ventajas, Desventajas en Transmision de Datos

##### 3.1.6.1.1 Ventajas

GSM a nivel mundial tiene un mayor numero de usuarios que CDMA.

GSM cuenta con el mayor numero de operadoras celulares a nivel mundial.

GSM incorpora en su sistema GPRS una ventaja tecnologica para brindar servicios 3G.

Con la implementacion de la banda GSM de 850 Mhz permitio el crecimiento de esta tecnologia en Latinoamerica.

Roaming internacional.

Tecnología de implementación relativamente económica en relación a CDMA lo cual permite obtener rentabilidad económica en poco tiempo.

Uso eficiente del espectro radioeléctrico.

Facilidad para la transmisión de datos inalámbricos.

GSM brinda claridad de voz en las llamadas.

GSM da la facilidad de cambiar de dispositivo móvil mediante el SIM.

GSM puede operar en cuatro bandas 850 Mhz, 900 Mhz, 1800 Mhz, 1900 Mhz. GSM permite el envío y recepción de información multimedia.

GSM tiene su arquitectura abierta lo cual brinda una compatibilidad con otras tecnologías.

#### 3.1.6.1.2 Desventajas

GSM a nivel tecnológico es inferior a CDMA.

CDMA utiliza el espectro radioeléctrico de una manera más eficiente que

GSM. GSM no posee el nivel de seguridad que tiene CDMA.

En CDMA las comunicaciones son codificadas con lo cual se logra una mayor cantidad de enlaces.

CDMA posee un sistema que le permite una mayor velocidad en la transmisión de datos más o menos unos 144 Kbps.

CDMA no es propenso a interferencia externa.

GSM requiere un número considerado de radio bases para brindar una buena cobertura.

## 3.2 Evolucion del 2G

La falta de eficiencia y capacidad en la Red de Segunda Generación obligó a los Operadores de Telecomunicaciones a encontrar formas de mejorar estos sistemas realizando cambios en la arquitectura de red existente generando una infraestructura simplificada de la red móvil 2.5G [3.8](#). El resultado fueron redes 2.5G que se diferenciaron de sus predecesoras ya que podían soportar servicios de paquetes de datos además de los servicios de datos conmutados por circuito que 2G solo soportaba [\[6\]](#).

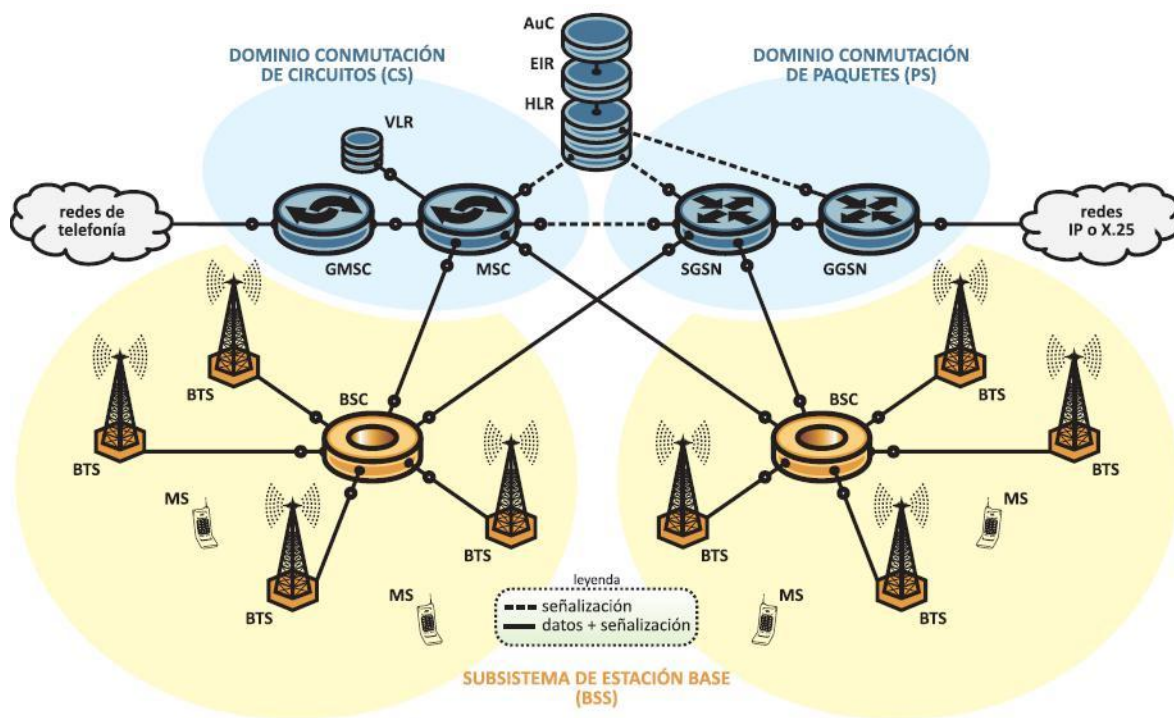


Figura 3.8: Infraestructura simplificada de la red móvil 2.5G [\[2\]](#)

Los sistemas de generacion 2.5G, introdujeron algunos cambios nuevos en la interfaz aerea como la evolucion del estandar GSM ya existente, que era el mas comunmente utilizado. Sin embargo, no puede haber ninguna mejora en la interfaz aerea sin mejorar la red central. Los principales cambios que trajo 2.5G se describen a continuacion:

Introduccion de General Packet Radio Service en las especificaciones GSM. GPRS proporciona velocidades de datos mas rapidas agregando varios intervalos de tiempo en un solo portador. Para ser mas especifico, GPRS toma los ocho intervalos de tiempo de GSM (que es un sistema TDMA) en un Ancho de banda de 200 KHz que proporciona una velocidad de datos teorica de  $8 \times 14,4 = 115 \text{ Kbps}$ . En la practica, sin embargo, admite hasta 56 Kbps y hasta 4 timeslots. La mayoria de los operadores no ofrecen tarifas tan altas, porque obviamente si se usa una ranura para un portador GPRS, no esta disponible para otro trafico. Ademas, no todos los moviles pueden agregar todas las combinaciones de ranuras.

Las velocidades de datos mejoradas para Global Evolution o EDGE es la tecnologia para GPRS o EGPRS mejorada y podra aumentar las velocidades de datos GSM y GPRS hasta 3 veces. Esto podra hacerse utilizando diferentes tecnicas de modulacion que pueden proporcionar velocidades de datos de hasta 384 Kbps. Es una evolucion relativamente directa de la modulacion de radio GPRS a mayores velocidades de datos dentro del mismo ancho de banda de 200 KHz utilizado por GSM y GPRS. Tambien agrega la capacidad de la modulacion 8-PSK para transmitir 3 bits por forma de onda (usando 1 de 8 fases) en comparacion con solo 1 bit por forma de onda usando la modulacion GMSK como se usa en GSM y GPRS.

Se introducen datos de alta velocidad con conmutacion de circuitos o HSDC para proporcionar velocidades de datos mas altas en comparacion con las proporcionadas por GSM. Esto se logra mediante el uso de multiples espacios de tiempo en lugar de uno. Dado que un canal GSM proporciona velocidades entre 9,6 Kbps y 14,4 Kbps, HSDC puede obtener hasta 57 Kbps utilizando hasta cuatro canales. La ventaja de usar este esquema es el hecho de que requiere cambios minimos en la arquitectura de la red ya que utiliza la conmutacion de circuitos,

que es ineficiente en terminos de uso de recursos.

### 3.2.1 Arquitectura de red GSM-CSD

Las redes celulares digitales como GSM se desarrollaron principalmente para la transferencia de la voz humana. Sin embargo, incluso la voz humana se transmite en forma digital. Esto hace que sea relativamente facil transferir datos generales en lugar de la voz humana [6]. Sin embargo, hay ciertas limitaciones asociadas principalmente con las tasas de bits maxima alcanzable. Un unico canal radio GSM tiene una tasa de transferencia maxima de 33,8 Kbps Sin embargo, para la transferencia de datos, la tasa de transferencia maxima disponible es unicamente de 9,6 kbps. La razon es que se utilizan 11 Kbps como la capacidad de canal de servicio, diseñado para garantizar la funcionalidad de la red GSM. La capacidad restante, de 13,2 Kbps, se utiliza para asegurar la abilidad de datos, con proteccion frente a errores de transmision. El mecanismo de transferencia de datos se conoce como CSD 3.9 [2]. Despues de algun tiempo se prob con exito que no siempre se requieren mecanismos de proteccion muy robustos para las transferencias de datos, permitiendo aumentar la velocidad de transferencia disponible para la transmision de datos. En concreto, la tasa de transferencia de datos se aumento a 14,4 Kbps, con la condicion de disponibilidad de se~nal con alta calidad. Asimismo, tambien se pudo ver que la a~nadir bits a los datos transmitidos no es la unica opcion para aumentar la abilidad de la transferencia de datos. Es posible utilizar soluciones basadas en la realimentacion entre remitente y destinatario. Si el receptor se da cuenta que los datos han llegado con errores, el emisor los puede transmitir de nuevo. Este proceso requiere, obviamente, que ambas partes estan de acuerdo y por tanto es necesario de nir un protocolo. Este protocolo se llama RLP RLP (Radio Link Protocol) [2].

### 3.2.2 Arquitectura de red GSM-HSCSD

Una manera de aumentar la tasa de bits en una red GSM existente es que se puedan utilizar simultaneamente diversos intervalos de tiempo para servir a un usuario [6]. Este modo de transmision de datos se conoce con las siglas HSCSD. Se basa en el principio

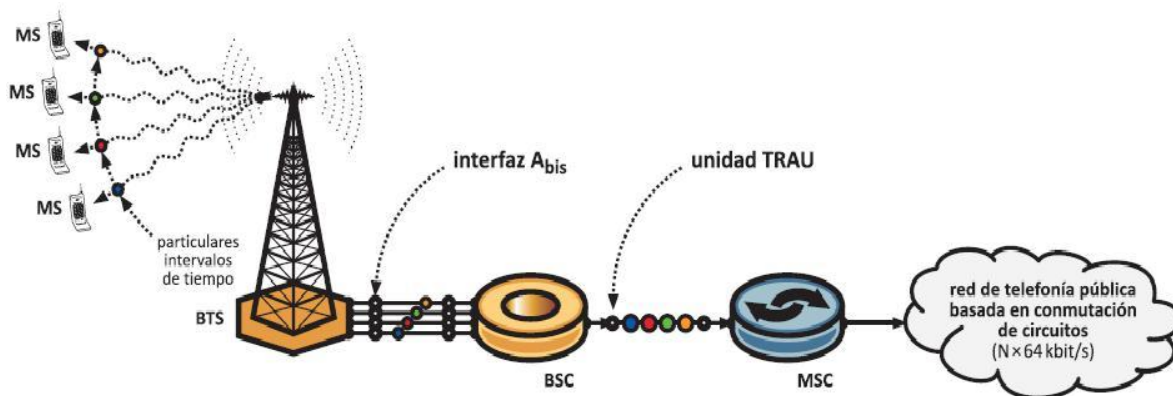


Figura 3.9: Transferencia de datos mediante CSD [2]

de CDS pero permite un aumento significativo de la tasa de transmisión. Como se

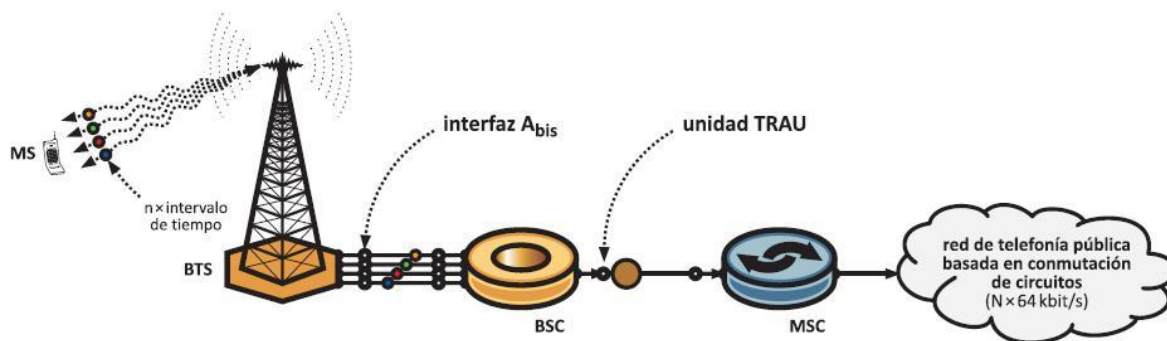


Figura 3.10: Transmisión de datos usando HSCSD [2]

muestra en la figura 3.10, la comunicación entre el terminal móvil (MS) y la estación base (BS) se lleva a cabo a través de un grupo de intervalos de tiempo y se transmite a la MS. La asignación de ranuras de tiempo depende de la cantidad actual de canales de radio disponibles y de las capacidades de la propia MS. Los datos se transmiten por la BS y el BSC (interfaz  $A_{bis}$ ) utilizando canales con una velocidad de 16 Kbps. En general hay disponibles 32 canales con velocidad de transferencia de 64 kbps (es decir, 2 Mbps en total) para la comunicación entre el BS y el BSC. Cada uno de estos canales se divide además en cuatro subcanales con velocidad de transmisión de 16 Kbps [11]. Los subcanales con velocidad de transmisión de 16 Kbps pueden ser utilizados para la transmisión de voz (13 Kbps) o datos comunes (14,4 Kbps). Los datos se van



fusionando de forma secuencial en la Unidad Transcodificadora y de adaptación de velocidad TRAU (Transcoder and Rate Adaptation Unit) ubicada en el BSC, de forma que quedan integrados en un canal estandarizado (64 Kbps). La unidad TRAU está diseñada para convertir voz codificada (con velocidad de 13 Kbps) en un canal de voz estandar PCM (velocidad de 64 Kbps) o para modificar la velocidad de transferencia de datos de hasta 64 Kbps. Por lo tanto la velocidad máxima de transferencia por un canal que puede lograrse utilizando esta tecnología también es de 64 Kbps [6]. Las transferencias que se realizan de esta manera pueden ser en la mayoría de los casos asimétricas. Esto significa, por ejemplo, que en la dirección desde un MS a la red se puede asignar tres intervalos de tiempo y en la dirección opuesta (de la red al MS) se puede asignar un solo intervalo. Este método de asignación de capacidad de canal de radio se utiliza muy a menudo y es adecuado, por ejemplo, para la conexión a Internet, donde los datos se transfieren principalmente de la red hacia el usuario. El estándar que define el modo de HSCSD, divide los modos disponibles en 18 clases de acuerdo con el número de canales que se puede utilizar para ambas direcciones [6].

### 3.2.3 Arquitectura de red GSM-EDGE

EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) es una técnica de transmisión de datos en redes móviles 2.75G, que aumenta la capacidad de la red y las tasas de transferencia disponibles en el contexto de las técnicas de HSCSD y GPRS. Ya no se podía incrementar más la tasa de transmisión de datos utilizando mejoras en la codificación o disponiendo de más intervalos de tiempo [6]. El único método posible para aumentar aún más el rendimiento era mediante la utilización de una técnica de modulación más eficiente. Así, en lugar de la modulación original GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying), EDGE utiliza la modulación en fase 8-PSK (Phase Shift Keying) 3.11. La velocidad de símbolos en un canal con ancho de banda de 200 kHz es la misma que antes, es decir, 270833 símbolos/s. No obstante, la utilización de esquemas de modulación de ocho niveles permiten que la tasa de bits sea tres veces más rápida que en la modulación binaria original. La máxima tasa de transferencia alcanzable teóricamente es de 473.6 Kbps (59.2 Kbps por intervalo de tiempo) [2]. Sin embargo, esto solo ocurre si se emplean los 8 slots temporales y las condiciones de propagación de señal son propicias.

El despliegue de esta tecnolog a requiere la implementacion de un nuevo tipo de tran-

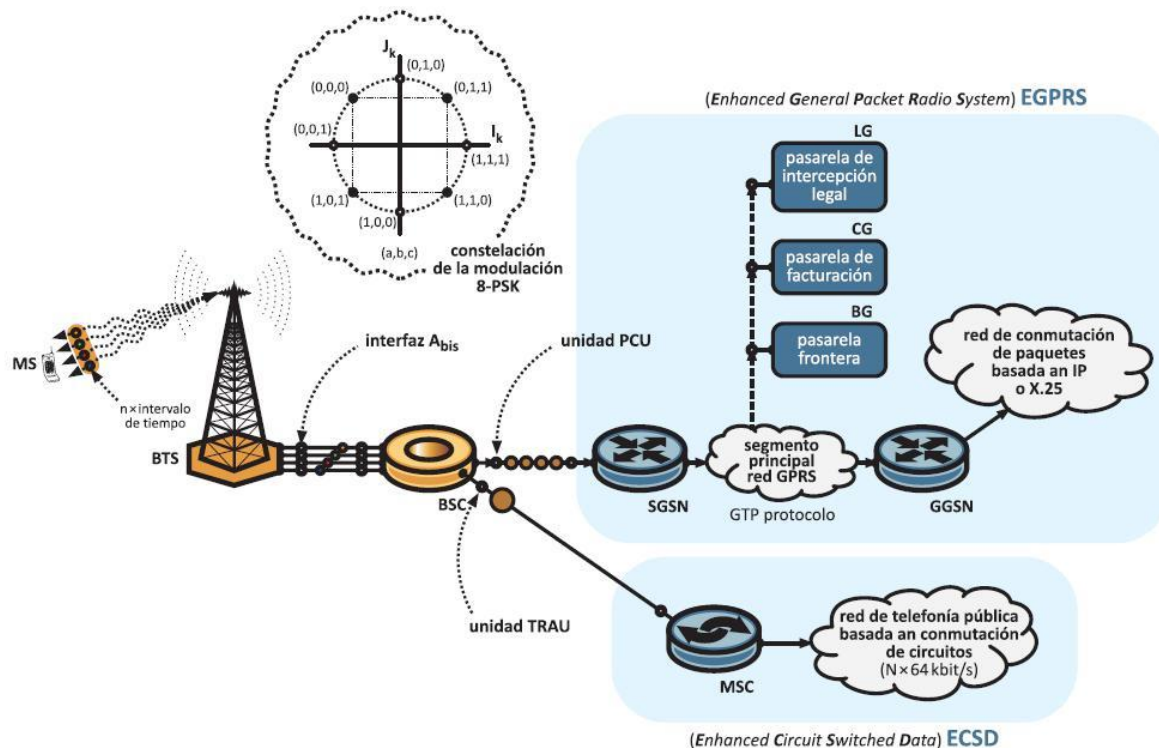


Figura 3.11: Transmision de datos en EDGE [2]

sceptor en la red. Este cambio se debe aplicar en cada celda donde se despliega esta tecnolog a. Adem as se requiere un ajuste para actualizar el software. La combinacion de la tecnolog a EDGE, junto con tecnolog as GPRS y HSCSD es muy conveniente, especialmente para conseguir una mejora signifi cativa de las transferencias de datos. EDGE se considera generalmente como el ultimo paso en la mejora del sistema original GSM antes de la introduccion de la tercera generacion conocida como UMTS [6].

### 3.2.4 Arquitectura de red GSM-GPRS

El estandar GPRS o Servicio General de Paquetes v a Radio (en ingles, General Packet Radio Service) es una evolucion del sistema GSM. Es tambien conocido como GSM++, pero dado que se trata de un estandar de telefon a movil intermedio entre la segunda

generacion (2G) y la tercera (3G), a menudo recibe la nomenclatura de 2.5G [6].

Los sistemas GPRS extiende la arquitectura del estandar GSM para permitir la transferencia de datos mediante conmutacion de paquetes con velocidades de transferencia que rondan los 114 Kbps. Al contrario de lo que ocurre en conmutacion de circuitos, en el estandar GPRS, gracias a su modo de transferencia de paquetes, las transmisiones de datos solo utilizan la red cuando es necesario, permitiendo la tarificacion por volumen de informacion transmitida en lugar de por tiempo de conexion, por lo tanto, el usuario puede permanecer conectado sin costo adicional, ya que solo utilizar la red cuando env e o reciba un paquete de datos [20].

El acceso a la red de datos, el estandar GPRS utiliza el protocolo IP, mientras que para el transporte de voz, emplea la arquitectura de la red GSM. A parte de actualizar algunos servicios con los que ya contaba GSM, la tecnolog a GPRS admite otra serie de caracter sticas que no estaban disponibles en 2G:

Servicios de mensajes cortos (SMS)

Servicios de mensajes multimedia (MMS)

Servicio punto a punto (PTP); para la conexion cliente-servidor en una red

IP Servicio punto a multipunto (PTMP); para el env o de multidifusion.

El GSM se ha adaptado para admitir el modo de operacion de paquete sin conexion GPRS. Se ha introducido un nuevo nodo funcional llamado Unidad de control de pa-quetes para controlar y gestionar la asignacion de recursos de radio GPRS a los usuarios de dispositivos moviles. En la g.3.12 se muestra la estructura funcional del sistema GPRS, basada en la adicion de nuevos nodos sobre la infraestructura correspondiente a GSM. A dichos nodos de soporte GPRS se les conoce como GSN ( SGSN y GGSN) [6].

El SGSN (Nodo de soporte de servicios GPRS) monitorea el estado de la estacion movil y rastrea sus movimientos dentro de un area geogra ca determinada. Tambien es responsable de establecer y administrar las conexiones de datos entre el usuario

movil y la red de destino. Además se encarga del encaminamiento de los paquetes IP entrantes y salientes dirigidos hacia, o procedentes, de cualquier abonado GPRS situado dentro de la zona geográfica a la que da servicio ese SGSN [2].

EL GGSN (Nodo de soporte pasarela GPRS) proporciona el punto de conexión entre el dominio GPRS y las redes de datos externas, como Internet y las Intranets corporativas. A cada red externa se le asigna un nombre de punto de acceso (APN) único que el usuario móvil usa para establecer la conexión a la red de destino requerida. Además sirve de interfaz hacia las redes externas de paquetes IP. Encamina las direcciones IP de los abonados servidos por la red GPRS, intercambiando información de encaminamiento con la red externa.

El GGSN prepara la comunicación con redes externas y gestiona las sesiones de GPRS. También incluye funciones para asociar abonados con la SGSN que corresponda. También recopila datos de tarificación y uso de la red de datos externa [2].

en conclusión los nodos de datos SGSN se comunican con la parte radio de la red GPRS. Para la transferencia de datos a otras redes de paquetes, tales como Internet, se utiliza una pasarela de datos GGSN que actúa como un router 3.13. El acceso de los usuarios a dichas redes se permite a través de APN (Access Point Name). De esta manera, el operador puede permitir el acceso a la APN solo a un conjunto de nido de tarjetas SIM y por lo tanto puede crear una red GPRS para un grupo privado de usuarios, cuyo tráfico es estrictamente separado del resto del tráfico. La transmisión de datos a través de la APN puede ser diferente con distintos precios para el servicio individual de proveedor, tal como ocurre en WAP (Wireless Application Protocol) o en MMS (Multimedia Messaging Service) [6, 2].

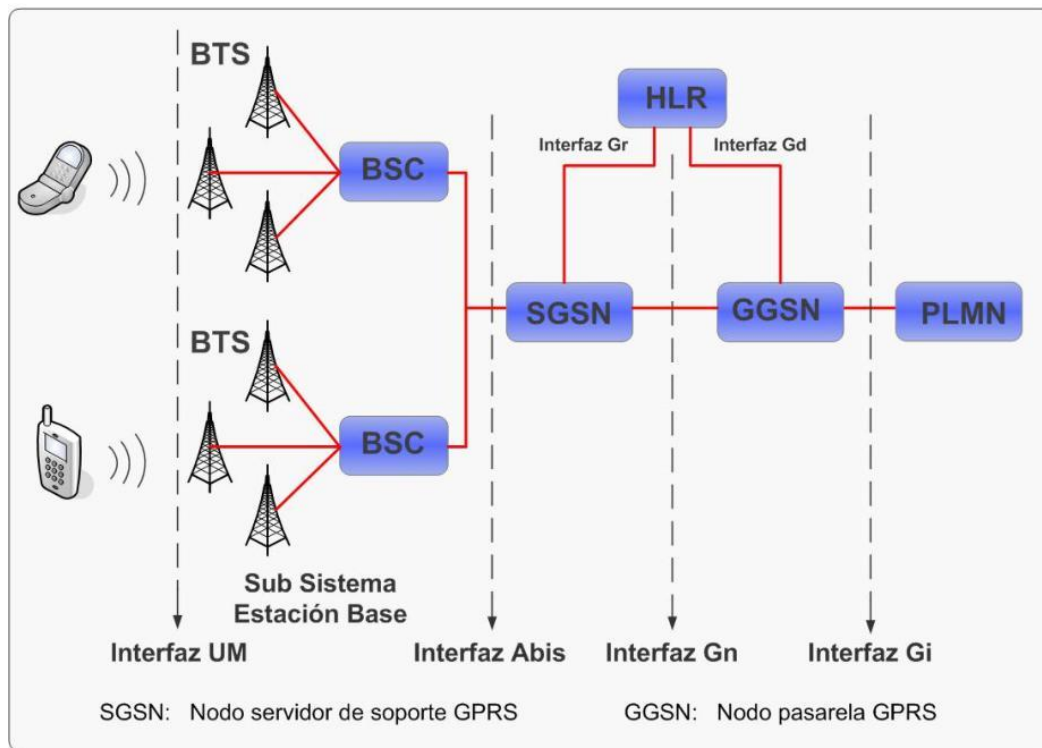


Figura 3.12: Red de comunicacion GPRS [2]

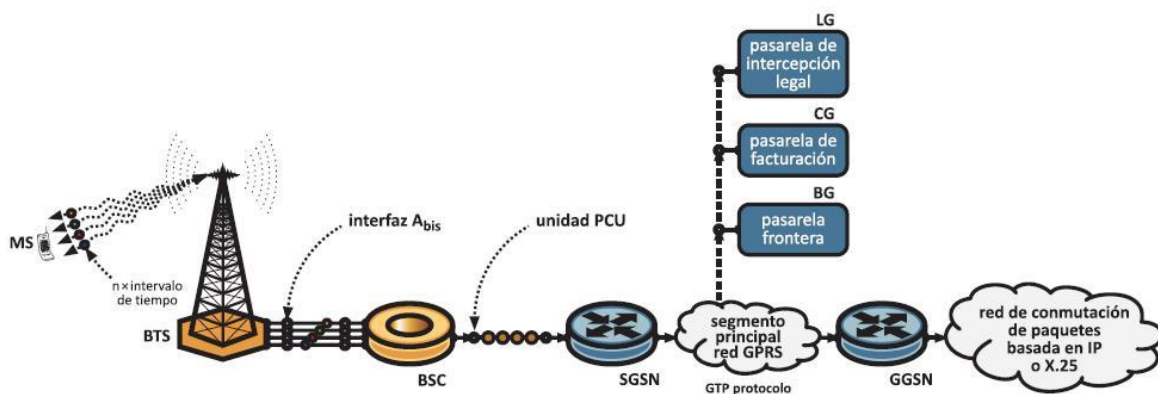


Figura 3.13: Transmision de datos usando GPRS [2]

# CAPITULO 4

## Comunicaciones Moviles 3G

Las crecientes necesidades de los suscriptores y los diversos avances tecnologicos que existian a principios de la decada de 2000 hicieron que los Sistemas de Segunda Generacion fueran obsoletos. Eso llevo al mercado al desarrollo de la tecnologia movil de tercera generacion (3G) que se centro en la mejora de los servicios de voz, y transmisiones de datos de alta velocidad. Esos sistemas se desarrollaron con el objetivo de ofrecer nuevos servicios de conectividad multimedia (video sobre demanda, descarga de imagenes de alta calidad, etc.) a los suscriptores. La Union Internacional de Telecomunicaciones (UIT) ha de nido que los sistemas 3G son capaces de soportar rangos de datos de alta velocidad de 144kbps a mas de 2 Mbps [6]. Con el fin de trabajar hacia un estandar global 3G movil, en 1998 se fundo 3GPP (Third Generation Partnership Project). 3GPP esta integrado por miembros de los organismos de normalizacion de todo el mundo, Europa (ETSI), EE.UU. (ANSI) o Japon (ARIB). 3GPP ha estado trabajando en un estandar de 3G de radio comun, conocido generalmente como UMTS (Universal Mobile Telecommunication System). Sin embargo, el termino 3G no se aplica a una determinada tecnologia o estandar, sino que abarca muchas especificaciones tecnicas que han sido aprobados para mejorar gradualmente el UMTS inicial con el fin de satisfacer las demandas crecientes. Con metodo de acceso multiple adoptado como WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), conceptos calidad de servicio, QoS (Quality of Service) y una adaptividad a algunas variaciones de GSM como EDGE agosto 2010lte.

## 4.1 Requisitos de la UIT para la 3G

Como se ilustra en el gra co 4.1, los requisitos de la UIT para los sistemas de tercera generacion se relacionaban principalmente con las mejoras de capacidad [5]. En particular:

Para las celulas grandes o las macrocelulas, que son las mas comunmente utilizadas en las zonas urbanas (y suburbanas), se debe considerar la distancia desde la estacion base. El radio en esas areas ser a de una a cinco millas, pero en las areas rurales podr a ser de hasta cinco. Por lo tanto, los sistemas de tercera generacion deber an ser capaces de soportar al menos 144Kbs [6].

Para las celdas mas peque~nas o microcelulas, donde las antenas estan tpicamente debajo de los tejados, la UIT no se centro en la alta velocidad vehicular, sino mas bien en la conectividad de los peatones. Por lo tanto, los sistemas de tercera generacion deber an soportar al menos 384Kbs [2].

Para las celdas o picocelulas mas peque~nas que se piensa que estan en el interior y el usuario esta cerca de una antena o un centro, incluso caminando lentamente, los sistemas de tercera generacion deben ser capaces de alcanzar al menos 2Mbs. Eso se acercar a a las cantidades de capacidad de la zona local inalambrica, pero a nes de la decada de 1990 no hab a WiFi, por lo que parec a una buena idea [6].

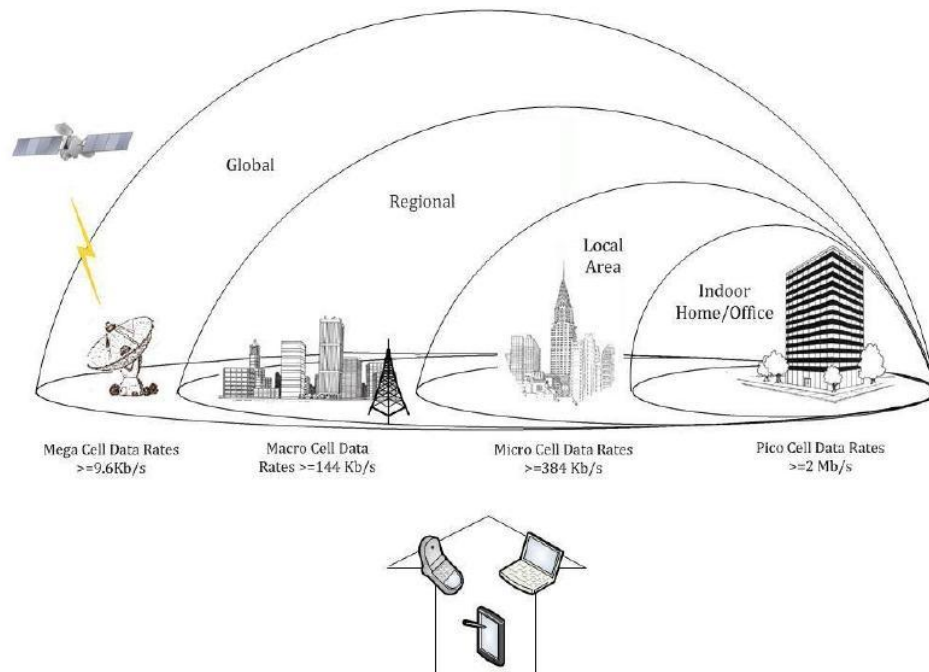


Figura 4.1: Velocidades de datos mínimas que deberán soportar los sistemas 3G [6]

## 4.2 Estandares de red

La tercera generación de tecnologías digitales se comercializó en la década de 2000 y se centró en la mejora de los servicios de voz, mayores anchos de banda y el soporte de servicios multimedia [20]. Para proporcionar estas capacidades, los sistemas de tercera generación se desarrollaron principalmente en dos tecnologías:

UMTS evolucionó del GSM, GPRS y EDGE a sistema W-CDMA, además de estas tres tecnologías de acceso de radio preexistentes para cumplir con los requisitos de 2 Mbps. UMTS utiliza W-CDMA como el estándar subyacente que ofrece una mayor eficiencia espectral y un ancho de banda mayor que GSM. También utiliza un par de canales de 5 MHz, uno en el rango de 1900 MHz para el enlace ascendente y uno en el rango de 2100 MHz para el enlace descendente. Las bandas de frecuencia específicas asignadas originalmente por el estándar UMTS son 1885-2025 MHz para el enlace ascendente y 2110-2200 MHz para el enlace descendente [6].



CDMA 2000, también conocido como IMT Multi-Carrier (IMT-MC) es una familia de estándares de tecnología móvil 3G para enviar datos de voz, datos y sincronización entre teléfonos celulares y sitios celulares. Está desarrollado por 3GPP2 como un sucesor compatible con versiones anteriores del conjunto de normas cdmaOne (IS-95) de segunda generación y se utiliza especialmente en Norteamérica y Corea del Sur. El nombre CDMA2000 denota una familia de estándares que representan sucesivas etapas evolutivas de la tecnología subyacente. Estos son voz (CDMA2000 1XRTT, 1X Advanced) y datos (CDMA2000 1xEV-DO = Release 0, revision A, revision B,) [6]

La evolución de las redes 3G se ha iniciado con la emisión de estándares, la primera versión UMTS conocida como Release 99 [13]. Desde entonces, se aprobaron diversos estándares (publicados como releases 4.2), como se indica a continuación :

Release 99 : Esta versión se basa en la red GSM, siendo así UMTS compatible con GSM. En comparación con las redes 2G, Release 99 aporta un nuevo tipo de red de acceso de radio, conocida como UTRAN (UMTS Universal Radio Access Networks). Las velocidades teóricas de transmisión de datos en esta versión son de 2 Mbps para el enlace descendente y 384 Kbps para el de subida

Release 4 : Esta publicación fue aprobada en 2001 e introduce varios cambios importantes en la red del núcleo (core) y GERAN. Las principales características son la separación de portadora de transporte y las portadoras de control en el CS (Core Switched) de red, la introducción de nuevas interfaces en la red CS, lo que permite tasas de chip bajas y sobre todo, la introducción de IMS (IP Multimedia Subsystem)

Release 5 : La principal mejora de la Versión 5 respecto a las versiones anteriores se basa en la introducción de la tecnología HSDPA (High Speed Downlink Packet Access). HSDPA aumenta la tasa de bits en el enlace descendente hasta aproximadamente 14 Mbps.

Release 6 : De manera similar a publicaciones anteriores, la Versión 6 supone una mejora significativa en la transmisión de datos a partir de la especificación

HSUPA (High Speed Uplink Packet Access). HSUPA permite velocidades de bits en el enlace ascendente de hasta 5,76 Mbps. Además, se lograron mejoras en el subsistema IMS .

Release 7 En esta versión se introduce HSPA +, también llamada como Evolved High Speed Packet Access. Se aumenta aún más las tasas de bits alcanzables tanto en el enlace ascendente como en el descendente. La mejora se consigue mediante la introducción de una modulación más eficaz (64 QAM) y la técnica MIMO (Multiple Input Multiple Output) en la que tanto el emisor como el receptor pueden emplear más antenas. En consecuencia, las tasas máximas teóricas son de 45 hasta 42 Mbps en el enlace descendente y de hasta 11,5 Mbps en el enlace ascendente [6].

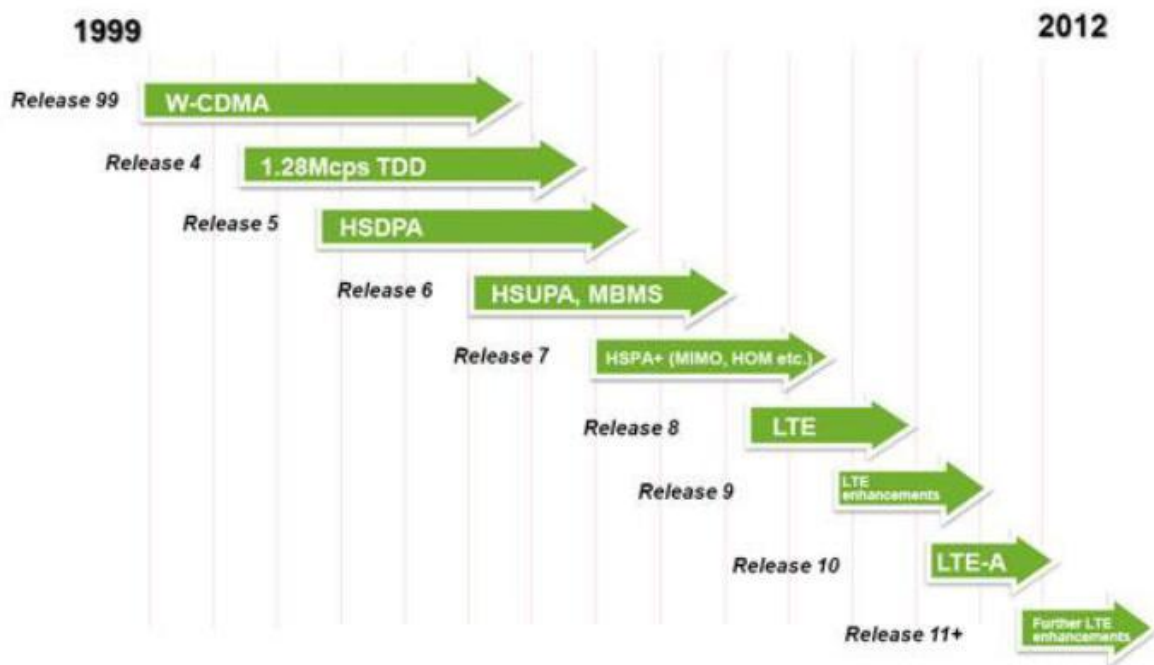


Figura 4.2: Cronograma estándares de 3GPP [2]

### 4.3 Tecnología de acceso

Los métodos de acceso TDMA-FDMA utilizado en las redes 2G no es suficiente para los requisitos de las redes 3G. Por eso, UMTS adopta un método de acceso más sofisticado basado en CDMA, llamado WCDMA (Wideband-CDMA). Es una tecnología que fue especificada por 3GPP para la parte de red de acceso de radio de UMTS. Este estándar basado en CDMA proporciona mayores velocidades de transmisión de datos en sistemas GSM. En WCDMA, los bits de información del usuario se expanden sobre un ancho de banda mucho mayor que en el caso convencional CDMA. De esta manera puede aumentar considerablemente la capacidad y la velocidad de transmisión. Igual que ocurre en CDMA, los datos de usuario se multiplican con bits pseudoaleatorios, llamados chips, obtenidos a partir de los códigos de extensión de CDMA. UMTS utiliza la velocidad de chip de 3,84 Mcps (Mega chip por segundo) y ancho de banda de 5 MHz [6]. En particular, WCDMA es una técnica de modulación de espectro ensanchado que usa canales de datos cuyo ancho de banda es mayor que los que se transmitirán. Cada canal de datos está pasando por el proceso de codificación, donde está codificado de forma que un decodificador (conociendo el código) puede seleccionar la señal deseada, desde otras señales con la misma banda que simplemente aparece como mucho ruido. La otra característica diferencial de sistemas basados en WCDMA es el factor de reuso de frecuencias 1. Es decir, la frecuencia utilizada en todas las celdas es la misma (al contrario que en GSM, en donde cada celda utiliza frecuencias individuales para minimizar la interferencia) [13]. Así los recursos de radio se utilizan mejor y su utilización de WCDMA conlleva varias características importantes en el estándar UMTS:

**El receptor rastrillo (Rake) :** La propagación en redes móviles por canales radio se caracteriza por múltiples reflexiones, difracciones y atenuación de energía de la señal causada por obstáculos tales como edificios, colinas, vegetación, etc. Esto da lugar a la propagación multicamino y a la fuerte atenuación de la señal en ciertas frecuencias. El sistema WCDMA combate estos efectos negativos usando un receptor rake, capaz de recibir y combinar eficazmente las componentes de las señales individuales [6].

**Control de potencia :** Uno de los aspectos más importantes con respecto a

WCDMA es un control rápido de potencia en particular en el enlace ascendente. De lo contrario, un solo usuario que transmitiese con mucha potencia podría bloquear una celda entera. Por ello, en los sistemas basados en WCDMA, la potencia recibida por todos los usuarios debe ser la misma en la estación base. En el caso de HSPA esto solo es cierto en parte, como se explica más adelante [6].

Transferencia suave (soft handover) : Dado que las celdas adyacentes utilizan la misma frecuencia, los usuarios pueden estar conectados simultáneamente a dos estaciones base (utilizando dos códigos diferentes). Como consecuencia, el traspaso entre dos celdas se puede realizar sin ninguna interrupción, lo cual se conoce como transferencia suave [6].

El WCDMA transmite en un par de canales de radio de 5MHz de ancho y proporciona un balance diferente de compensaciones entre costo, capacidad y rendimiento. También es compatible con los servicios convencionales de voz celular, de texto y multimedia [2]. Según el gráfico 4.3, WCDMA es una técnica de espectro ensanchado mediante la cual la señal del usuario original se transforma en una forma de señal que se extiende a través de un ancho de banda mayor que el requerido para la señal inicial. Los códigos que se usan para esta transformación se llaman códigos de expansión. A través de este método, la señal del usuario pasa por el proceso de transformación donde se multiplica con bits en un código de expansión. Un código de expansión único está dedicado a cada usuario. Los bits en el código de expansión se denominan chips mientras que los que están en la señal del usuario se denominan símbolos [29].

## 4.4 Infraestructura de red UMTS

Las bandas de frecuencia de funcionamiento de sistema UMTS están dispuestas alrededor de 2 GHz, lo cual garantiza características razonables de transmisión, baja atenuación de señal y fácil penetración de la señal en edificios (indoor). Las bandas de frecuencia asignadas dependen de si UMTS opera usando duplexación por división de tiempo (Time Division Duplex, TDD) o en duplexación por división de frecuencia (Frequency Division Duplex, FDD) [6]. UMTS puede operar con un espectro mínimo de

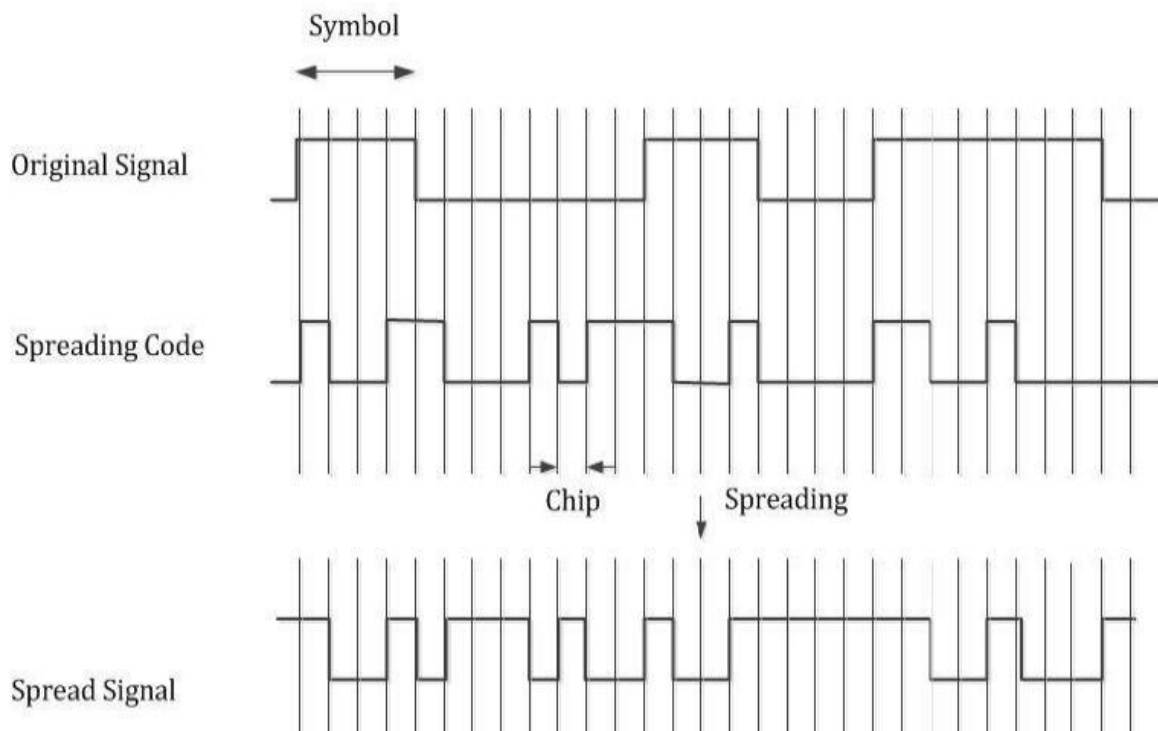


Figura 4.3: Generacion de una se~nal W-CDMA [6]

2x5 MHz para la banda de frecuencia asignada a un par UMTS FDD y una banda de frecuencias de 5 MHz en UMTS TDD. Las bandas de frecuencia asignadas son algo diferentes para Europa y EE.UU. En Europa, se asignaron las bandas de frecuencia UMTS TDD en la banda de 1900-1920 MHz para el enlace ascendente y en la banda de 2010- 2025 MHz para el enlace descendente. En UMTS FDD se asignan bandas de frecuencias en el rango de 1920-1980 MHz para el enlace ascendente y en el rango de 2110-2170 MHz para el enlace descendente [2].

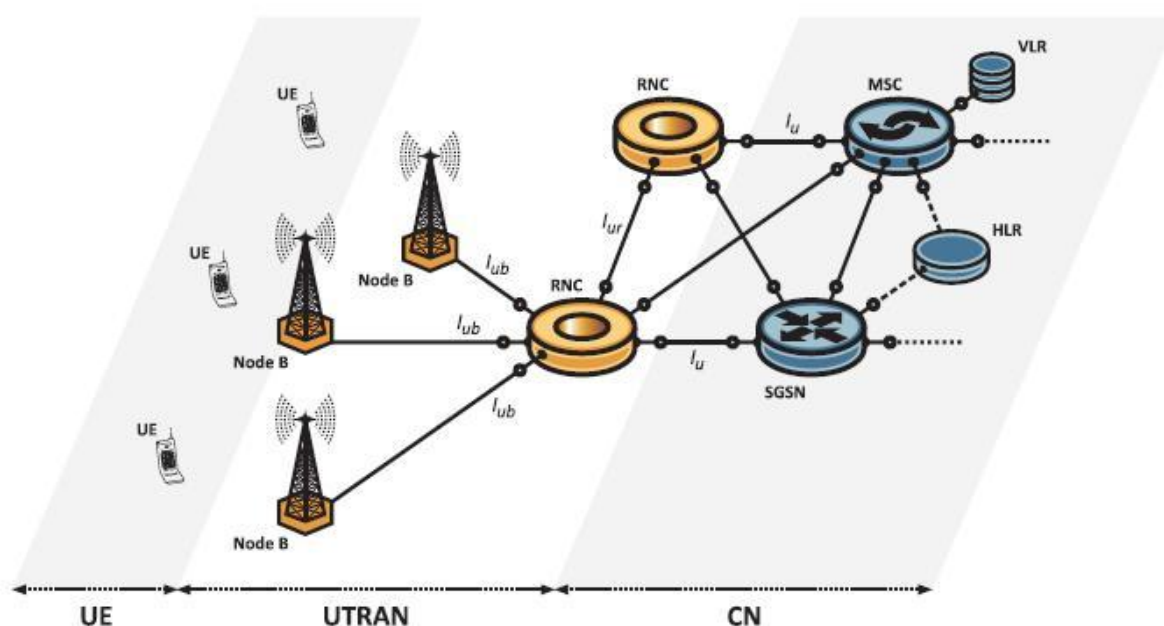


Figura 4.4: Estructura de la red UMTS [2]

Una red UMTS consta de tres partes 4.4: el ME o el equipo movil, la UTRAN que representa la Red de Acceso de Radio Terrestre UMTS y la CN, que es la Red Central [6].

1. El UE (Equipo de usuario) o ME (Equipo movil) contiene el telefono movil y la tarjeta SIM (Modulo de identidad del suscriptor) llamada USIM (SIM universal) que contiene datos espec cos del miembro y permite la entrada autenticada del abonado a la red. Este UMTS UE es capaz de funcionar en tres modos: modo CS (circuito conmutado), modo PS (paquete conmutado) y modo CS y PS. En el modo CS, el UE esta conectado solo a la red central. En el modo PS, el UE esta conectado solo al dominio PS (aunque se pueden ofrecer servicios CS como VoIP (Voz sobre Protocolo de Internet), mientras que en el modo CS y PS, el movil puede trabajar simultaneamente para ofrecer ambos Servicios CS y PS [6]. En la arquitectura de red UMTS el UE consta de dos bloques:

Terminal movil (MT, Mobile Terminal) : dispositivo f sico que gestiona todas las comunicaciones en la interfaz Uu, es decir, se trata del telefono movil, ordenador portatil o PDA. El MT es el dispositivo equivalente al terminal movil (MS) de nido en las redes 2G [2].

Modulo de identidad del suscriptor UMTS (USIM, UMTS Subscriber Identity Module) : La tarjeta incluye datos espec cos del usuario, como su identi cacion, el algoritmo de autenticacion, y otro informacion del suscrip-tor. La tarjeta USIM es equivalente a la tarjeta SIM utilizada anteriormente en redes 2G [2].

2. Los componentes de Radio Access Network (RAN) son: Estaciones base o nodo B cuyas funciones principales son control de potencia de circuito cerrado, codi - cacion de canal f sico, modulacion y demodulacion, transmisiones de interfaz aerea y manejo de recepcion y errores. Controlador de red de radio o RNC cuyas fun-ciones principales son control y gestion de recursos de radio, control de potencia, asignacion de canales, control de admision, cifrado, segmentacion y reensamblaje. Esta arquitectura de la red UMTS esta representada por la red UTRAN [29].

Esta parte es la que mas modificaciones presenta en comparacion con las redes 2G. UTRAN consta de dos elementos de la red:

La estacion base (Nodo B) : Su funcion es similar a la BTS en las redes 2G. Para ello, el nodo B se compone del mastil, antena, y el hardware y software necesario. El proposito principal de Nodo B es permitir que los UEs se conecten a la red 3G. Los UE se conectan a Nodo B mediante canales de radio (a traves de la interfaz Uu). Por lo tanto, el nodo B controla el enlace radio ascendente y descendente y garantiza las funciones del canal radio [6].

Controlador de Red Radio (RNC, Radio Network Controller) : La entidad RNC es analoga al nodo BSC utilizado en 2G. As pues, RNC es responsable del control de varios nodos B conectados. RNC y el anterior BSC tienen varias funciones similares, como la responsabilidad de la gestion de recursos de radio (asignacion de recursos de radio para los nodos B, control de admision, control de congestion, etc.) Sin embargo, RNC tiene mayor responsabilidad que el BSC en lo que respecta a la gestion de la movilidad de los usuarios individuales. En las redes 2G, el MSC y el SGSN juegan un papel mas importante en relacion con problemas de movilidad, tareas que no desarrollaba el BSC y que ahora son responsabilidad de RNC [6].

3. La funcion principal de Core Network (CN) es proporcionar conmutacion, enrutamiento y transito para el trafico de usuarios. El CN tambien contiene las bases de datos y las funciones de gestion de red. La arquitectura CN basica para UMTS se basa en la red GSM con GPRS. Todos los equipos deben ser modificados para la operacion y los servicios de UMTS. El CN se divide en los dominios CS y PS. Los componentes de la red principal son:

GMSC o Gateway Mobile Services Switching Center que es un elemento Circuit Switched y se utiliza para enrutar llamadas fuera de la red movil. En particular, cuando una llamada para un abonado movil proviene de fuera de la red movil o si el abonado desea realizar una llamada a alguien fuera de la red movil, la llamada se enruta a traves del GMSC [2].



El VLR o Visitor Location Register, que tambien es un elemento de conmutacion de circuitos, contiene informacion sobre el roaming de los suscriptores dentro del area de ubicacion de un centro de conmutacion movil (MSC). La funcion principal del VLR es minimizar el numero de consultas que los MSC deben realizar al registro de ubicacion local (HLR), que contiene datos permanentes con respecto a los suscriptores de la red celular.

SGSN o Serving GPRS Support Node, que es un elemento conmutado por paquetes, media el acceso a los recursos de la red en nombre de los suscriptores moviles e implementa la politica de programacion de paquetes entre diferentes clases de QoS. Es responsable de establecer el contexto del Proto-colo de paquetes de datos (PDP) con el GGSN (nodo de soporte GPRS de la puerta de enlace) al momento de la activacion.

GGSN o Gateway GPRS Support Node, que tambien es un elemento conmutado por paquetes, es responsable del interfuncionamiento entre la red GPRS y las redes externas con conmutacion de paquetes. Desde el punto de vista de las redes externas, el GGSN es un enrutador de una subred, porque el GGSN 'Oculta' la infraestructura GPRS de la red externa. Cuando el GGSN recibe datos dirigidos a un usuario especifico, verifica si el usuario esta activo. Si es asi, el GGSN reenvia los datos al SGSN que presta servicios al usuario movil, pero si el usuario movil esta inactivo, los datos se descartan. Por otro lado, los paquetes originados en dispositivos moviles son enrutados a la red correcta por el GGSN. Para hacer todo esto, el GGSN mantiene un registro de usuarios moviles activos mientras que SGSN esta conectado a los usuarios moviles. Asigna direcciones IP a usuarios de dispositivos moviles y, por ultimo, el GGSN es responsable de la facturacion [6].

Los dos elementos comparten los elementos de red como EIR, HLR, VLR y AUC. El modo de transferencia asincronica (ATM) se define para la transmision central UMTS [2].

IMS (IP Multimedia Subsystem) : Es una parte importante de CN en UMTS, es fundamental para que los desarrollos 3G sean exitosos y rapidos, y para el despliegue de nuevos servicios 3G. Para ser mas especificos, IMS propor-

ciona un marco estandar para el despliegue de la siguiente generacion de aplicaciones basadas en IP utilizando gran variedad de medios integrados, v deo, texto y datos. IMS se introdujo por primera vez en la Release UMTS 4, donde su arquitectura se separo de la red de acceso para proporcionar un control de servicios independiente. En la Release 6 extiende IMS hacia una infraestructura de red independiente del acceso. Como consecuencia de ello, el IMS se puede integrar tambien con otras redes de acceso basadas en tecnolog as GPRS o EDGE, por ejemplo. Los estandares IMS adoptaron el protocolo SIP (Session Initiation Protocol). SIP establece una conexion IP entre los equipos de usuario (por ejemplo, para sesiones de voz o v deo) o conectividad IP entre la UE y servidores de aplicaciones [6].

Los sitios de celulas UMTS continuan reteniendo transceptores GSM, GPRS y EDGE para servir a los usuarios que no han actualizado sus dispositivos de usuario de acuerdo con los estandares WCDMA. Excepto por eso, UMTS continua usando, con algunos cambios, la infraestructura de GSM y GPRS. Esto se hace mediante la inclusion de MSCs o Centros de conmutacion movil, enrutadores GPRS (SGSN) y GGSN [11].

## 4.5 Evolucion del 3G

Con la convergencia de Internet y las comunicaciones inalambricas, los servicios de red movil estan experimentando un enorme crecimiento. Sin embargo, incluso los Sistemas de Tercera Generacion no cumplieron con las expectativas del usuario ya que exist an limitaciones principalmente en la velocidad de acceso. Eso llevo a la industria a encontrar formas de actualizar los estandares de interfaz aerea ya existentes y reemplazarlos con versiones de datos mejoradas y mas altas 4.5. Esto se hizo con el despliegue de las versiones actualizadas de WCDMA y CDMA 2000, HSPA y 1xEVDO [8]. HSPA o High Speed Packet Access, que es la version evolucionada de WCDMA, es la tecnolog a real para 3.5 Network Generation. HSPA consta de dos estandares individuales, HS-DPA y HSUPA que representan el enlace descendente de alta velocidad y el acceso por paquetes de enlace ascendente, respectivamente [8]. Para ser mas espec co:

HSDPA o acceso a paquetes de enlace descendente de alta velocidad, como se

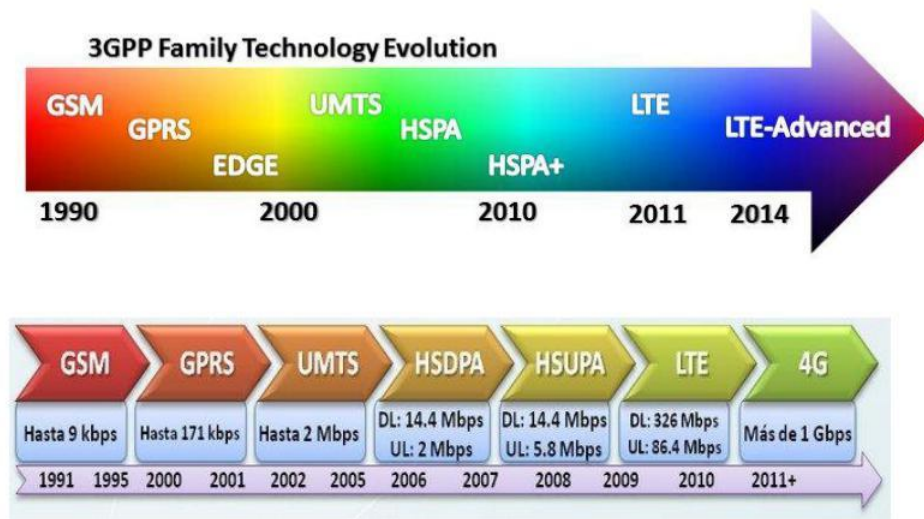


Figura 4.5: Evolucion Tecnolog as 3GPP [2]

ilustra en el gra co 1, proporciona hasta 14Mbps con una latencia signi cativa-mente reducida. Tambien proporciona alrededor de tres veces la capacidad de la tecnolog a 3G UMTS de nida en la Version 99 del estandar 3GPP UMTS. HS-DPA mejora en WCDMA mediante el uso de diferentes tecnicas de modulacion y codi cacion. Crea un nuevo canal dentro de WCDMA llamado HSDSCH, o canal compartido de enlace descendente de alta velocidad. Ese canal funciona de manera diferente que otros canales y permite velocidades de enlace descendente mas rapidas. Es importante tener en cuenta que el canal solo se usa para el enlace descendente. Eso signi ca que los datos se env an desde la fuente al telefono. No es posible enviar datos desde el telefono a una fuente usando HSDPA. El canal se comparte entre todos los usuarios, lo que permite que las se~nales de radio se utilicen de manera mas efectiva para las descargas ms rapidas. En pocas palabras, HSDPA ofrece mayor capacidad, mayor velocidad de datos, menor tiempo de respuesta, mejor calidad de servicio y uso compartido de canales [2].

HSUPA o acceso a paquetes de enlace ascendente de alta velocidad aumenta el enlace ascendente de 2Mbps a 5,76Mbps. Tambien aumenta la capacidad y reduce la latencia. El enlace ascendente mejorado presenta varias mejoras similares a las

de HSDPA, incluida la transmision de multiples codigos, el corto intervalo de tiempo de transmision (TTI), la programacion rapida y la solicitud de repeticion automatica h brida rapida (HARQ). Se agregaron mejoras para lograr HSUPA de acuerdo con Enhanced Dedicate Channel o EDCH [6].

En cuanto a la version desarrollada de cdma2000, 1xEVDO puede proporcionar a los clientes velocidades de datos maximas de 2.4Mbps. En particular, 1xEV significa 1x Evolution con portadora 1x o 1,25Mhz, mientras que DO significa solo datos. Se presentaron dos versiones, 1x EVDO Rev A y 1x EVDO Rev 0 [6]. Para ser mas especificos:

1. 1x EVDO Rev A ofrece una serie de beneficios y ventajas sobre las versiones anteriores de la tecnologia a CDMA. En particular, proporciona:

Velocidades mejoradas de banda ancha que son de tres a cuatro veces mayores que WCDMA

Mayor eficiencia espectral que permite el soporte de mas usuarios por sector de sitio celular

Mejor calidad de servicio, ya que permite a los proveedores de servicios inalambricos ofrecer servicios diferenciados a los usuarios en funcion de criterios de rendimiento.

Latencia reducida a un promedio de entre 150 y 256 mps2 Servicios avanzados.

Las capacidades mejoradas de ancho de banda de EVDO Rev A permiten a los usuarios compartir grandes archivos de datos de manera mas rapida y eficiente, lo que permite a los proveedores de servicios inalambricos proporcionar servicios mas avanzados en el futuro. Dichos servicios incluyen VoIP, video telefon a, transmision de medios, respaldo mejorado y capacidades de redundancia, y mas. La tecnologia EVDO Rev. A esta llevando a mayores tasas de adopcion de aplicaciones empresariales entre los usuarios de negocios inalambricos. El aumento del ancho de banda y la capacidad hacen que el uso de aplicaciones empresariales, como la planificacion de recursos empresariales o la gestion de relaciones con los clientes, sea mas factible a

traves de dispositivos inalambricos [6]. Ademias, esta viabilidad hace posible que los operadores inalambricos ofrezcan servicios avanzados mas all del correo electronico y la voz.

2. 1x EVDO Rev 0 admite velocidades de datos de enlace de banda ancha de alta velocidad de hasta 2.4 MBPS en un canal de radio de 1.25MHz. Tambien pro-porciona:

Datos de banda ancha: ya que admite una velocidad maxima de datos de hasta 2.4 Mbps en el enlace directo y 153 kbps en el enlace inverso dentro de un unico canal FDD de 1.25 MHz

E ciencia espectral de 0.630 bpsp MHz en enlace descendente y 0.180 bpsp MHz en enlace ascendente sobre un canal FDD de 5 MHz

Latencia promedio: de 110 msec de nodo a nodo ping

Experiencia del usuario, ya que ofrece una experiencia de usuario siempre activada y tasas de datos comparables a las redes DSL

Conectividad Ip: aprovecha el conjunto existente de protocolos de Internet y es compatible con las aplicaciones y servicios basados en IP ya existentes

Aplicaciones: ya que admite aplicaciones de datos de banda ancha, como Internet de banda ancha o acceso VPN, etc.

#### 4.5.1 HSDPA

HSDPA se introdujo en la Release 5 UMTS. Se basa en la adopcion de nuevas tecnicas para mejorar signi cativamente la tasa de bits de datos en direccion de enlace descen- dente (la velocidad de datos en el enlace ascendente sigue siendo la misma) [6, 2]. Como resultado de ello, el valor maximo teorico de la tasa de bits por celda se incrementa desde 2 Mbps hasta 14,4 Mbps. Los cambios en las redes se hacen sobre todo en UTRAN y la idea clave es mover varias radios procedimientos de gestion de recursos radio a Nodo B en lugar de RNC como en versiones anteriores de UMTS (es decir, Release 99 y Release 4). La ventaja de este cambio es que el Nodo B esta mucho "mas cerca" de la UE. Por lo tanto, puede ser mucho mas eficaz para reaccionar teniendo en cuenta la

calidad variable del canal radio [22]. La Figura 4.6 muestra los procedimientos que se han movido al Nodo B.

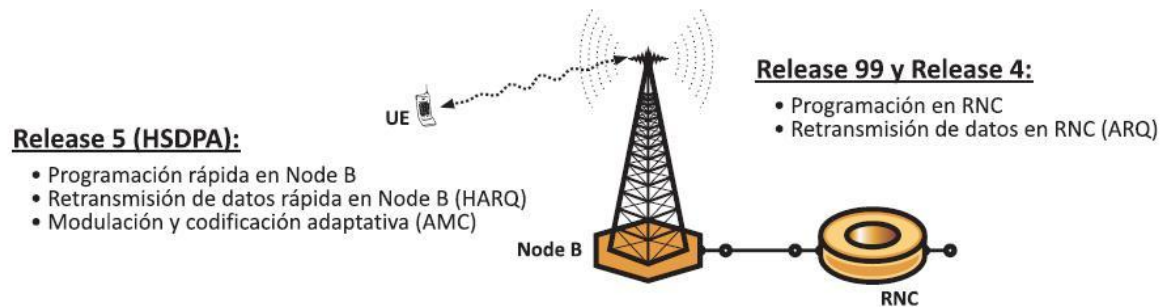


Figura 4.6: Comparacion con Release 99 y Release 4 [11]

#### 4.5.1.1 Programacion rapida de datos

Un aspecto importante en relacion con HSDPA es que la mayor a de los recursos se comparten entre los distintos usuarios activos. Debe tenerse en cuenta que el resto de los recursos radio estan dedicados para los usuarios activos, ya sea con comunicaciones de voz o transmision de datos [5]. El proposito de la programacion de datos es asignar los recursos radio del Nodo B correspondiente a sus usuarios. El periodo de asignacion, tambien se denomina como intervalo de tiempo de transmision (Time Transmission Interval, TTI), se establece en 2 ms, mucho menor que en Release 99 o Release 4 donde el máximo TTI es de 10 ms. Esta es la razon principal por la que se denomina programacion "rapida" de datos. El intervalo de programacion se puede reducir ya que el Nodo B se comunica directamente con el UE asociado y recibe informacion actual-izada en cuanto a requisitos y calidad de canal [6]. El Nodo B puede adoptar varias estrategias para la asignacion e caz de los recursos radio en el enlace descendente, tal como se ilustra en la Figura 4.7. El algoritmo mas simple t popular de programacion es el denominado Round Robin (RR); los usuarios de HSDPA son programados con la misma probabilidad independientemente de las condiciones del canal de radio. La principal desventaja de este enfoque es que no se utilizan e cientemente los recursos ra-dio (usuarios con malas condiciones de canal no pueden transmitir a altas velocidades) [6]. El segundo metodo de programacion, llamado maximo relacion entre portadora e

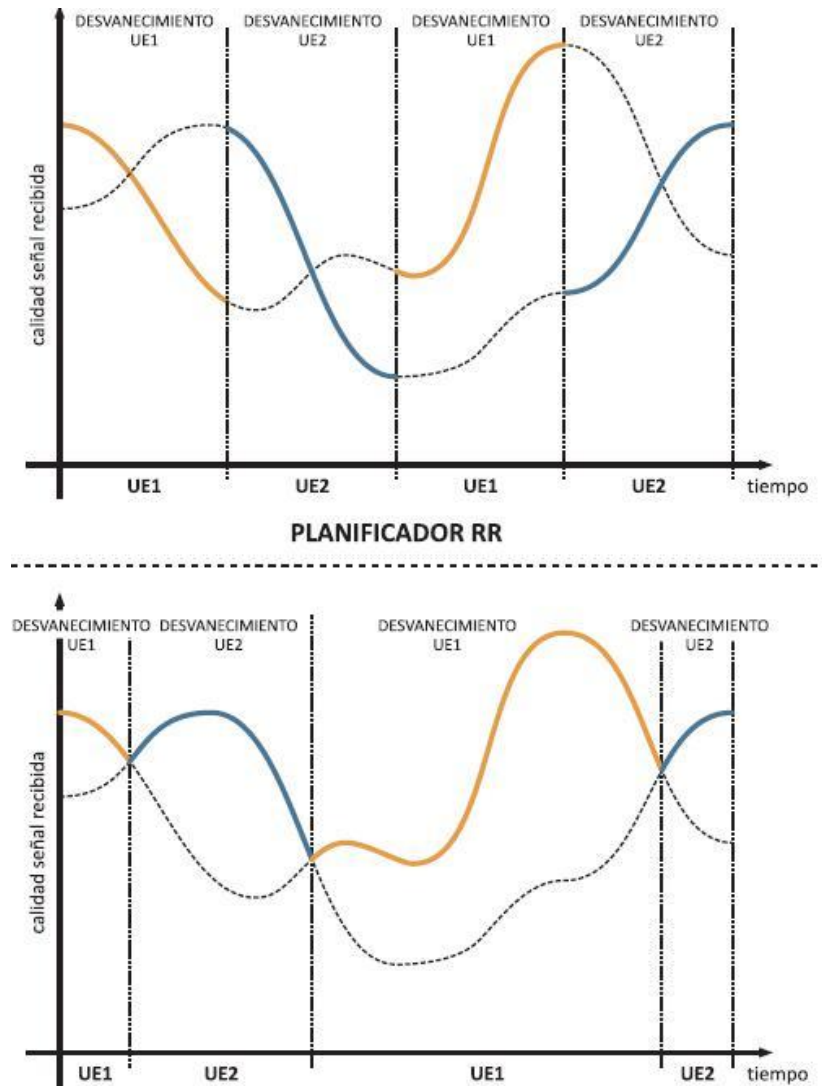


Figura 4.7: Asignacion de recursos de radio en el enlace descendente [6]

interferencia (Maximum Carrier-to-Interference ratio, Max-C/I), asigna todos los recursos radio a los usuarios con mejor calidad del canal y por lo tanto maximiza el uso HSDPA por celda. Sin embargo, este enfoque tampoco es adecuado, ya que los usuarios cercanos al NodoB son mejor tratados que los usuarios con mala calidad de canal. El método proporcion justo (Proportional Fair PF), representa un compromiso razonable entre los dos mecanismos de programación mencionados anteriormente. En este caso, la probabilidad de que el UE pueda recibir datos depende tanto de la calidad del canal como de la cantidad de datos recibidos en el pasado. Por ejemplo, si el UE ha estado inactivo durante un largo tiempo, su prioridad es cada vez mayor [2, 11].

#### 4.5.1.2 Retransmisiones de datos rápidas

Si el UE no es capaz de decodificar paquetes de datos recibidos correctamente, solicita inmediatamente su retransmisión desde el Nodo B. En las versiones anteriores de UMTS, la petición de retransmisión se enviaba al RNC, que era responsable de esta operación [6]. En HSDPA, el procedimiento de retransmisión es gestionado exclusivamente por el Nodo B (por eso nos referimos a un procedimiento de retransmisiones de datos "rápidas"). La siguiente figura 4.8 muestra el principio básico [13]. La novedad adicional en HSDPA es el mecanismo de retransmisión. Mientras que en el estándar UMTS original, se asume una simple solicitud de repetición automática (ARQ, Automatic Repeat reQuest), HSDPA introduce una versión modificada, conocida como Hybrid ARQ (HARQ). HARQ es capaz de almacenar temporalmente los datos corruptos en un búfer que además pueden ser combinados con paquetes de datos recibidos recientemente para aumentar la probabilidad de decodificación correcta. De esta manera, se minimiza la cantidad de retransmisiones, pudiendo hacer un uso más eficiente de los recursos radio [2, 22].

#### 4.5.1.3 Adaptación rápida del enlace

Por adaptación del enlace denominamos al ajuste continuo de los parámetros del enlace de transmisión en función de la calidad actual del canal radio. La adaptación rápida del enlace se consigue haciendo que esta funcionalidad sea responsabilidad del nodoB [6]. En Release 99 y Release 4 UMTS, la adaptación de enlace se consigue principalmente



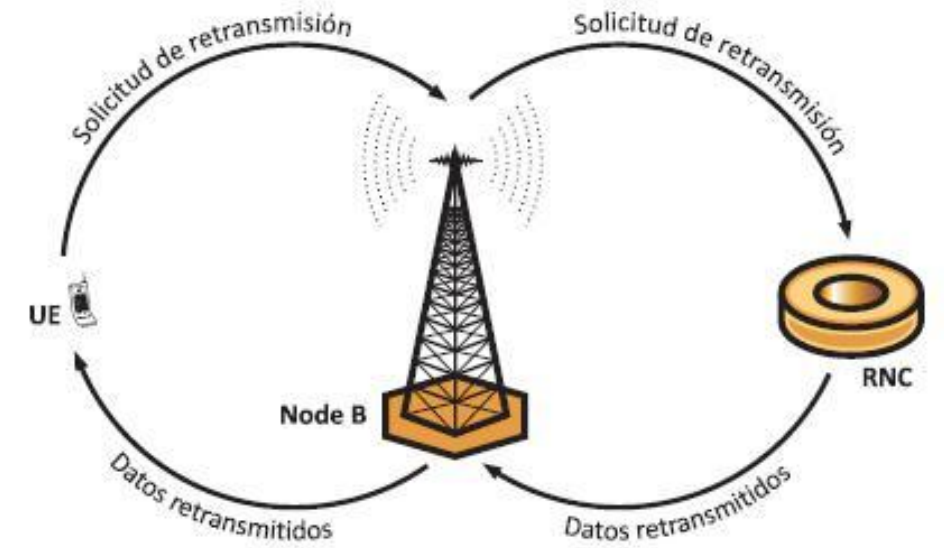
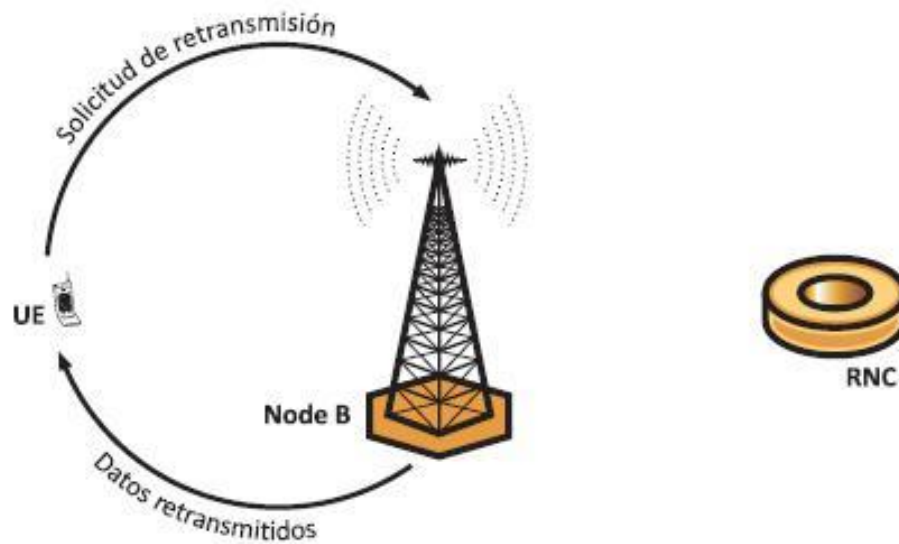
**UMTS Release 99****HSDPA**

Figura 4.8: Retransmision de datos rapida en HSDPA [6]

mediante un rapido control de potencia. Por otra parte, HSDPA introduce un nuevo procedimiento conocido como modulacion y codificacion adaptativa (Adaptive Modulation and Coding, AMC) que permite seleccionar dinamicamente la modulacion y el esquema de codificacion (Modulation and Coding Scheme, MCS) utilizado en el enlace descendente de la transmision. En consecuencia, si la calidad del canal es pobre, se utiliza un esquema MCS mas robusto que disminuye la velocidad de transmision de datos pero garantiza una baja tasa de error de paquete (Packet Error Rate, PER) [11, 6]. Cuando las caracteristicas del canal radio mejoran su cientemente, es decir, aumenta la relacion (C/I), el nodo B selecciona MCS mas e cientes con el n de mejorar la tasa de transmision de datos (vease la Figura 4.9). Tenga en cuenta que otra diferencia im-

portante en comparacion con las versiones anteriores de UMTS es que HSDPA ademA<s de QPSK tambien soporta esquema de modulacion 16 QAM.

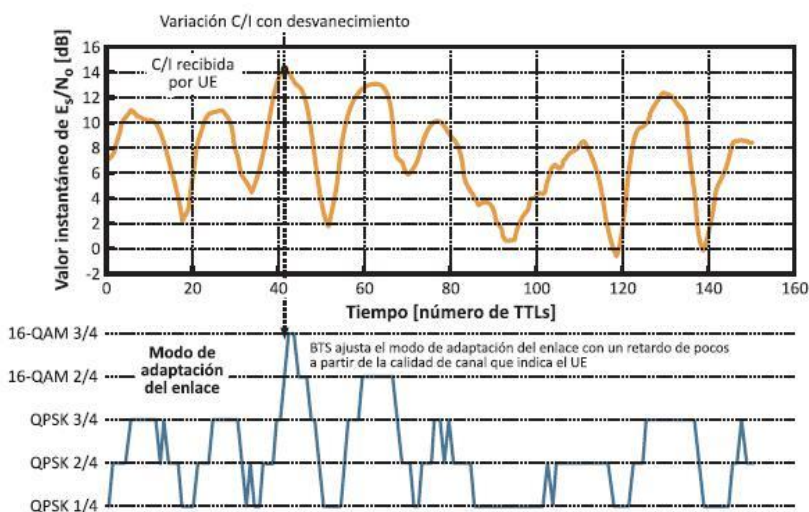


Figura 4.9: Adaptacion rapida del enlace en HSDPA [6]

#### 4.5.1.4 Evolucion de HSDPA

Las mejoras adicionales que permiten una mayor tasa de transmision de datos en el enlace descendente se introducen en la Release 7, donde se da soporte por primera vez a la con guracion MIMO 2x2. De esta manera, la anterior tasa teorica de transmision de enlace descendente por celda se puede doblar desde 14 Mbps hasta 28 Mbps. AdemAs,

a partir de la Release 7, las tasas de bits del enlace descendente también se incrementan hasta 42 Mbps gracias a la introducción de la modulación 64 QAM [20]. Por otra parte, el rendimiento del enlace descendente se puede mejorar mediante el método de DC. El principio de DC es agregar más portadoras (en la mayoría de los casos, dos portadoras resultando un ancho de banda igual de 10 MHz). Como resultado, la tasa teórica de bits en el enlace descendente es de 84 Mbps a partir de la Release 8 [22]. Las velocidades de bits de datos mencionados anteriormente son solo teóricas y los usuarios solo consiguen una pequeña fracción. Esto se debe a varias razones. El primer aspecto importante necesario para tener en cuenta es que las tasas máximas teóricas de datos no se pueden lograr en un sistema real. La capacidad disponible por una celda depende en gran medida de aspectos, tales como la calidad del canal radio (utilizado MCS), la potencia máxima de transmisión permitida o de la sobrecarga por la señalización necesaria para la gestión de los procedimientos de control. Además, la capacidad real por una celda se divide entre los UEs activos. Otra restricción adicional es la capacidad del UE. Los UE no necesariamente pueden operar con todas las velocidades disponibles. Como resultado, las redes actuales son capaces de soportar solo las tasas binarias de varios Mbps por usuario [6].

#### 4.5.2 HSUPA

El HSUPA fue introducido en la Release 6 de UMTS y permite aumentar la velocidad binaria máxima del enlace ascendente hasta 5,76 Mbps por celda. Si bien HSDPA implica modificaciones de software solo para el nodo B y para el RNC, HSUPA requiere también modificar el UE. Esto es lógico ya que la finalidad de HSUPA es aumentar la capacidad en el enlace ascendente y por lo tanto también se deben aplicar algunos cambios en el UE [6]. El principio de HSUPA es similar a HSDPA ya que el Nodo B pasa a ser la entidad que realiza las funciones de programación rápida y de retransmisiones rápidas de datos (esta vez en el enlace ascendente) tal como se indica en la Figura 4.10. Si bien el principio de retransmisiones rápidas de datos es muy similar a HSDPA con la aplicación de HARQ, el enfoque de programación rápida es bastante diferente (como se explica posteriormente) [2]. Además, en HSUPA no hay una adaptación rápida del enlace a las condiciones de cambio de canal como en el caso de HSDPA. Sin embargo, la

variación de las condiciones del canal se controla mediante el control rápido de potencia.

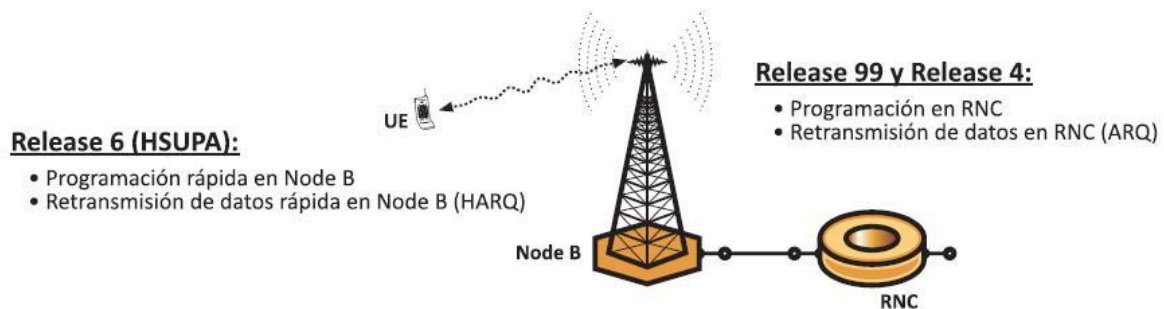


Figura 4.10: Comparación con Release 99 y Release 4 HSUPA en Nodo B [2]

#### 4.5.2.1 Programación rápida de datos

La diferencia más notable en la programación rápida de datos entre HSDPA y HSUPA es que en el enlace descendente (HSDPA) los recursos radio son compartidos entre los usuarios individuales, mientras que en el enlace ascendente (HSUPA), todos los usuarios activos han ocupado cierta cantidad de recursos simultáneamente [6]. Dependiendo de las capacidades del UE, la programación se realiza ya sea cada 10 ms (obligatorio) o 2 ms (opcional). El principio de programación rápida de datos en HSUPA es como sigue. Siempre que el UE tiene datos a transmitir, en primer lugar debe enviar la solicitud de asignación de recursos radio en el enlace ascendente. Después de eso, el Nodo B asigna recursos de radio al UE. La programación de datos en HSUPA se realiza por medio de una mejor gestión de la potencia de transmisión del UE. Dado que UMTS adopta WCDMA, el sistema está limitado principalmente por la máxima potencia de transmisión y consecuentemente por la interferencia. Para ello, cuando se habla de recursos radio es más relevante la potencia de transmisión que podrá ser utilizada por los UEs individuales que el ancho de banda. El RNC define la máxima potencia permitida que puede recibir el nodo B. Por consiguiente, la asignación de recursos radio mediante la programación rápida de datos se realiza de forma que el UE cambia su potencia de transmisión en función de los requisitos del momento [11]. En caso de necesidad de transmitir a altas velocidades, el UE debe aumentar su potencia de

transmision. Esto, por otra parte, puede implicar que otros UE deban disminuir su potencia de transmision, ya que la suma de las potencias de transmision de todos los UE debe mantenerse siempre por debajo de un umbral predeterminado. De manera similar, si el UE debe enviar una menor cantidad de datos, puede disminuir su potencia para ahorrar recursos radio en el enlace ascendente [2].

#### 4.5.2.2 Evolucion of HSUPA

Del mismo modo que en el caso de HSDPA, el rendimiento en HSUPA puede mejorarse aun mas mediante tecnicas similares a las previstas para HSDPA. La mejora mas notable se consigue mediante la utilizacion de la tecnica MIMO, que permite duplicar los indices maximos teoricos de velocidad de transmision hasta aproximadamente 11.5 Mbps [5]. La combinacion de HSDPA junto con la tecnica HSUPA se conoce como HSPA y simplemente se refiere a la alta velocidad de acceso a datos en ambas direcciones de transmision. Ademias, a partir de la Release 7 el conjunto HSDPA/HSUPA se denomina a menudo HSPA +.

## 4.6 Calidad de Servicio (QoS)

Las redes moviles 2G (GSM) permitieron servicios de voz y de mensajeria de texto (SMS) utilizando conmutacion de circuitos de voz, gracias a las relativamente costosas capacidades de conmutacion de circuitos de datos (CSD, HSCSD). La evolucion a los sistemas 2.5 G (GPRS) y 2.75G (EDGE) introdujo servicios de datos, tales como navegacion web, WAP o servicio de mensajeria multimedia (MMS), utilizando conmutacion de paquetes. De esta forma se consiguan tasas de datos realistas aproximadamente de 50 Kbps para GPRS y hasta 200 Kbps para EDGE. Las tasas de datos alcanzables eran insuficientes para servicios multimedia cuyos requisitos eran mas exigentes [6]. Las tecnologias moviles 3G proporcionan una amplia gama de nuevos servicios ya que UMTS soporta aplicaciones multimedia basadas en IP con altas velocidades de datos de hasta varios Mbps dependiendo de la version actual [2]. A continuacion se enumeran diversos servicios que se pueden ofrecer mediante 3G:

~

Streaming de vídeo a la carta : Las UE pueden recibir contenidos de vídeo, como películas, música, eventos deportivos, etc.

Juego en tiempo real : Los juegos pueden ser soportados en función de la versión UMTS (es decir, que Release se ha implementado). A partir de la Release 5 y posteriores se satisfacen los requisitos requeridos por aquellos juegos que necesitan altas velocidades de datos y pequeños retardos.

Descarga de contenidos multimedia : Los usuarios pueden descargar fácilmente canciones en formato mp3, fotos, así como otros contenidos interactivos.

Servicios de Mensajería : Mientras que en las redes 2G, solo están disponibles SMS o mensajes MMS simples (texto junto con la imagen), las redes 3G permiten la inclusión de vídeos de corta duración, etc.

Video conferencia y telefonía : Interacción simultánea de varios usuarios móviles que pueden comunicarse en línea mediante telefonía y vídeo.

Servicios basados en localización : Ofreciendo servicios basados como la navegación de los usuarios hasta el destino, la notificación de punto de interés (restaurantes, centros deportivos, centros comerciales, lugares de interés) o mejora de los servicios de emergencia.

Pulsar para hablar : Simplemente pulsando un botón en el auricular, el usuario puede comenzar a hablar inmediatamente a otros usuarios como si fuese un walkie-talkie.

En la red UMTS se define la diferenciación en QoS (calidad de servicio) para poder dar soporte a los servicios mencionados anteriormente. De forma simple, si la carga del sistema es alta, se deben priorizar algunos servicios para garantizar el rendimiento de la aplicación de extremo a extremo. Por ello, UMTS introduce cuatro clases de QoS (vease el cuadro 4.11) que se distinguen principalmente por el máximo retardo de paquetes. La clase de conversación junto con clase de flujo continuo se utiliza para dar soporte a aplicaciones en tiempo real (RT), tales como voz (clase de conversación) o transmisión de vídeo (clase de flujo continuo) [6]. Por otro lado, la clase interactiva

y la clase de background estan dise~nadas para ser utilizadas por aplicaciones que no son en tiempo real (NRT) utilizando las pol ticas de mejor esfuerzo (BE, best e ort). En consecuencia, la clase interactiva esta pensada para servicios tales como juegos en l nea, servicios basados en localizacion, mientras que la clase de background esta por ejemplo, dise~nada para el correo electronico [10].

Clase de servicio	Descripción
Clase "conversación"	Elevados requisitos respecto al retardo con tráfico simétrico o casi simétrico, y respecto a la cantidad dedicada de recursos radio
Clase flujo continuo o "streaming"	Menores requisitos de retardo en comparación con la clase de conversación, pero también se requiere una cantidad dedicada de recursos radio
Clase interactiva	Altos requerimientos en cuanto al retardo, pero no se requiere ninguna cantidad específica de recursos radio
Clase de background	Pocos requisitos tanto sobre el retardo como en la cantidad de recursos de radio

Figura 4.11: Clases de QoS [11]

## 4.7 Limitaciones de tecnolog a 3G

Como la tecnolog a de tercera generacion fue la primera en introducir servicios de datos de alta velocidad junto con la buena calidad de los servicios de voz, todav a existen algunas limitaciones importantes en las redes 3G [6, 19]. Estas limitaciones estan relacionadas con la cobertura, la seguridad y la complejidad del sistema. Para ser mas especi co:

Con 3G basada en WCDMA, a medida que aumenta la velocidad de los datos, el area de cobertura de la celda se hace cada vez mas peque~na.

Ha habido algunas mejoras con HSPDA, as es imposible conectarlas mediante enlaces inalambricos en tecnolog a celular.

Usando celdas WCDMA, con aumento en la velocidad de datos, la velocidad de movimiento del terminal de usuario tambien se vuelve cada vez menor.

Los sistemas inalambricos consumen mucha energ a y, por lo tanto, tienen una duracion de bater a limitada.

Los sistemas inalambricos son mas complejos debido a la necesidad de admitir la movilidad y hacer un uso e caz del canal. Al agregar mas complejidad a los sistemas, se pueden introducir vulnerabilidades de seguridad potencialmente nuevas





# CAPITULO 5

## Comunicaciones Moviles 4G

Un sistema 4G (Fourth Generation) es una evolucion basada en IP, conmutacion de paquetes de sistemas 3G (UMTS) y ha estas redes moviles se les conoce como Long Term Evolution (LTE). Ademas de servicios de voz, datos y otros servicios de tercera generacion, y proporcionando acceso a Internet de banda ancha movil [2].

LTE se define en la Release 8 y 9 de 3GPP. A diferencia de UMTS, LTE utiliza acceso OFDMA y SC-FDMA (Single Carrier OFDMA) para los enlaces descendente y ascendente respectivamente en lugar de WCDMA, utilizada en UMTS. Por lo tanto, las características de transmision son muy diferentes si las comparamos con UMTS. Sin embargo, LTE esta considerado como parte de los sistemas 3G, ya que no cumple con

los requisitos de nidos por la ITU para las redes 4G [11]. El primer estandar clasificado como 4G es LTE-A (Long Term Evolution - Advanced) estandarizado en junio de 2011 de acuerdo con la Release 10 de 3GPP. Es la evolucion del anterior LTE definido en las Release 8 o 9 y basado en los mismos principios que ambas versiones de LTE 5.1, pero esta alineado con el conjunto de requisitos de nidos por la ITU y conocidos como IMT-Advanced. En comparacion con LTE, LTE-A introduce agregacion de portadora, coordinacion de la interferencia entre celdas, o mejoras en la transmision de multiples antenas (MIMO). Todas estas mejoras permiten que LTE-A cumpla con los requisitos de IMT-Advanced para redes moviles 4G y permita tasas de datos máximas de hasta 1 Gbps. Ademas de LTE-A, tambien WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) estandarizado por el IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engi-

neers) segun IEEE 802.16m, fue aprobada como tecnologia 4G para redes moviles [2].

The evolution of mobile standards					
Mobile standards	3GPP		Qualcomm	China	IEEE
Carriers using:	AT&T and T-Mobile US, majority of global carriers		Sprint, Verizon Wireless	China Mobile	Sprint
2G: digital + data services	GSM: 2G		CDMAOne		
	GPRS: 2.5G				
	EDGE: 2.75G				
3G: at least 200 kbps  iPhone 4 currently delivers up to 7.2Mbps down, 5.8Mbps up	Release 4	UMTS 3G	CDMA2000 EVDO rev 0	TD-SCDMA (up to 2Mbps)	Mobile WiMAX 3.9G (4 Mbps cap on EVO "4G")
	Release 5	HSDPA 3.5G (to 21Mbps down)	CDMA2000 EVDO rev A (up to 3.1Mbps down, 1.8 up)		
	Release 6	HSUPA 3.5G (to 5.8Mbps up)	EVDO Rev C / Ultra Mobile Broadband Canceled:  Sprint moving to WiMAX, Verizon moving to 3GPP LTE		
	Release 7	HSPA+ 3.5G			
	Release 8/9	LTE 3.9G			
4G: at least 100 Mbps, IP-based	Release 10	LTE Advanced		TD-LTE	WiMAX 4G

Figura 5.1: La evolucion de los estandares moviles [6]

## 5.1 Estandares de red

Al igual que 3G, no hay un solo estandar 4G. En cambio, diferentes proveedores de servicios celulares utilizan diferentes tecnologias que cumplen con los requisitos de 4G [17]. Las tecnologias consideradas como estandares 4G incluyen la evolucion a largo plazo 5.1, la banda ancha ultra movil y el estandar IEEE 802.16. Para ser mas especifico:

1. LTE o Long Term Evolution se considera una tecnologia 4G o de cuarta generacion. Tiene el potencial de ofrecer servicios de banda ancha movil significativamente mas rapidos que fueron posibles con las tecnologias heredadas 3G o 2G de red. LTE se describe en un conjunto de especificaciones abiertas publicadas por 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Pertenece a la familia GSM de

tecnologías celulares y puede ofrecer velocidades de datos superiores a 100Mbps [6]. LTE puede ofrecer una serie de capacidades clave, entre las cuales las más importantes son:

Interfuncionamiento: como LTE es desarrollado por 3GPP, el organismo también responsable de 2G GSM y 3G UMTS, un dispositivo con capacidad LTE deberá poder retroceder a la cobertura de red heredada cuando no hay servicio LTE disponible asegurando que el roaming global continúe beneficiando a los usuarios [11].

All-IP: como LTE es un entorno basado en todo IP, puede admitir una variedad de servicios basados en Internet y IP. Servicios tales como VoIP (Voz sobre IP) operan por lo tanto utilizando las mismas tecnologías empleadas por Internet y otras redes basadas en IP [10].

Datos rápidos: una célula LTE es capaz de proporcionar conexiones de datos que superan los 100 Mbps, lo que es 50 veces más rápido que el servicio de banda ancha fijo promedio.

Alta capacidad: la capacidad de radio de LTE se puede utilizar para suministrar a un pequeño número de usuarios conexiones de datos muy rápidas o conexiones de velocidad media para muchos usuarios.

2. IEEE 802.16 o WiMAX es una tecnología diseñada para proporcionar velocidades de datos de 30 a 40Mbps. También es capaz de ofrecer servicios de datos rápidos, pero tiene algunas desventajas, ya que ofrece servicios de voz pobres, un potencial de itinerancia limitado y puede ser respaldado por una gama limitada de servicios [16].
3. Ultra Mobile Broadband o UMB es el nombre de la próxima evolución para el sistema de telecomunicaciones celulares cdma2000 que se ejecuta bajo los auspicios de 3GPP2. El sistema celular UMB promete proporcionar velocidades de transferencia de datos mucho más rápidas, y permite que el sistema compita con otros sistemas de banda ancha móvil, incluidos WiMAX y WiFi. Sin embargo, no se implementó debido a la falta de interés del operador [16].

Nombre	Estado	Start date	End date	Closure date
Release 15	Open	2016-06-01	-	-
Release 14	Open	2014-09-17	2017-06-09 (SA#76)	-
Release 13	Frozen	2012-09-30	2016-03-11 (SP-71)	-
Release 12	Frozen	2011-06-26	2015-03-13 (SP-67)	-
Release 11	Frozen	2010-01-22	2013-03-06 (SP-59)	-
Release 10	Frozen	2009-01-20	2011-06-08 (SP-52)	-
Release 9	Frozen	2008-03-06	2010-03-25 (SP-47)	-
Release 8	Frozen	2006-01-23	2009-03-12 (SP-43)	-
Release 7	Closed	2003-10-06	2008-03-13 (SP-39)	2014-09-17 (SP-65)

Figura 5.2: Releases de 3GPP [6]

El proceso de estandarización, que como bien indica el nombre trata de desarrollar nuevas especificaciones, se lleva a cabo mediante el trabajo conjunto y coordinado de todos los grupos de trabajo (WG) y grupos de especificaciones (TSG) de 3GPP, supervisados por el grupo de coordinación (PCG). Son tres las etapas en las que se divide dicho proceso: definición de los servicios desde el punto de vista del usuario, definición de la arquitectura y especificación de los protocolos [2]. El resultado del proceso de estandarización son las Releases, que no son más que un conjunto de especificaciones de normas en un lapso de tiempo concreto. Estas Releases están caracterizadas por tres fechas: fecha de comienzo, fecha de finalización y fecha de cierre.

5.2. La diferencia entre la fecha de finalización y la de cierre es que, en la primera, las Releases todavía pueden sufrir alguna modificación menor y, sin embargo en la segunda, las Releases no podrán ser modificadas. En consonancia con estas tres fechas, están los estados de las Releases. A partir de la fecha de comienzo, el estado de la Release pasa a ser open, tras la fecha de finalización el estado pasa a ser frozen y tras la fecha de cierre se convierte en closed [6]. A continuación se muestra el estado y las fechas mencionadas de las últimas Releases de 3GPP:

**Release 8** En este documento se adopta la modulación OFDMA para el acceso múltiple. Además, la celda puede utilizar un canal con mayor ancho de banda principalmente en el enlace descendente. Mediante el uso conjunto de técnicas de DC y 64QAM se puede lograr una capacidad del enlace descendente de hasta 84 Mbps [6]. Fue la versión 8 de 3GPP cuando se introdujo LTE por primera

vez y congelado en diciembre de 2008. Todos los lanzamientos siguientes solo mejoraron la tecnología. Basado en la estandarización del lanzamiento 8, los siguientes fueron los principales logros :

- { Velocidades de datos de alta velocidad: hasta 300 Mbps en enlace descendente y 75 Mbps en enlace ascendente.
- { Cuando se utiliza un ancho de banda MIMO de 4 × 4 y 20 MHz.
- { Alta eficiencia espectral.
- { Anchos de banda exhibibles: 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz y 20 MHz.
- { Tiempo corto de Trip de ida y vuelta: latencia de 5 ms para paquetes de IP en condiciones ideales de radio.
- { Arquitectura simplificada.
- { OFDMA en enlace descendente y SC-FDMA en enlace ascendente.
- { Toda la red IP.
- { Esquema de antena múltiple MIMO.
- { Operación en pares (FDD) y espectro no apareado (TDD).

Release 9 (Enhancement to LTE) Esta versión introduce a la arquitectura de redes las femtoceldas, denotados como Home eNodeB (HeNB). Además, se da soporte a los servicios multicast o broadcast multimedia MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Services) y se introducen mejoras en los servicios basados en la localización, LBS (Location Based Services) y congelado en diciembre de 2009 [6, 2]. Estas mejoras se enumeran a continuación :

- { PWS (Public Warning System): el público siempre debe recibir alertas oportunas y precisas relacionadas con desastres naturales u otras situaciones críticas. El Sistema de Alerta Móvil Comercial (CMAS) fue presentado en el lanzamiento 9 además de ETWS presentado en el lanzamiento 8 [6].
- { Femto Cell: Femto cell es básicamente una pequeña celda utilizada en oficinas u hogares y conectada a redes de proveedores a través de una conexión

de banda ancha ya. Las celulas 3G Femto se implementan en todo el mundo y para que los usuarios de LTE puedan aprovechar las celulas femto, se agregaron nuevos requisitos a la version 9.

- { Formacion de haces MIMO: la conformacion de haces se usa para aumentar el rendimiento del borde de la celda dirigiendo el haz hacia un UE especico mediante la estimacion de la posicion en eNB. En la version 8, LTE admite la formacion de haces de una sola capa en funcion de los Simbolos de Referencia especicos del usuario. En la version 9, la formacion del haz de una sola capa se ha extendido a la formacion de haz de multiples capas
- { Redes autoorganizadas (SON): SON significa autoinstalacion, optimizacion y curacion de redes para reducir el trabajo manual y los costos asociados con el soporte tecnico. La idea de SON se introdujo en el lanzamiento 8, aunque el enfoque se centro mas en la autoconfiguracion de eNBs donde, como en el lanzamiento 9, tambien se agregaron requisitos para la auto optimizacion.
- { eMBMS: con los servicios de multidifusion de transmision multimedia (MBMS), los operadores tienen la capacidad de transmitir servicios a traves de la red LTE. La idea no es nueva para el LTE y tambien se ha utilizado en redes heredadas, pero para LTE, el canal MBMS ha evolucionado desde la perspectiva de capacidad de datos y capacidad. El MBMS ya estaba definido en la capa fisica en la version 8, pero con la version 9, se completaron los aspectos de la capa superior y de la capa de red [6].
- { Posicionamiento LTE: Los metodos de tres posiciones se especifican en la version LTE 9, es decir, GPS asistido (A-GPS), diferencia de tiempo de llegada observada (OTDOA) e identificacion de celula mejorada (E-CID). El objetivo es mejorar la precision de las ubicaciones de los usuarios en caso de escenarios de emergencia en los que el usuario no puede revelar su paradero [6].

Release 10 (LTE Advanced) Esta version es la primera norma 3GPP compatible con 4G. Se introducen nuevas tecnicas como la agregacion de portadoras, mejoras en enlace descendente MIMO y en el enlace ascendente MIMO [11]. Asimismo se

de nuevas técnicas avanzadas para la coordinación de la interferencia que permiten la implementación densa de femtoceldas. Las especificaciones LTE-Advanced en la versión 10 incluyen características y mejoras significativas para cumplir con los requisitos ITU IMT-Advanced que establece velocidades más altas que las que puede lograr UE a partir de las especificaciones de la versión 8 de 3GPP y congelado en marzo de 2011 [6, 2]. Algunos de los requisitos clave establecidos por IMT-Advanced son los siguientes : 1 Gbps DL / 500 Mbps de rendimiento UL, Alta eficiencia espectral y Roaming mundial. Las siguientes son algunas mejoras significativas en la versión 10 :

- { Acceso múltiple mejorado del enlace ascendente: la versión 10 introduce el SC-FDMA agrupado en el enlace ascendente. Versión 8 SC-FDMA solo permite a los operadores a lo largo de un bloque contiguo de espectro, pero LTE-Advanced en la versión 10 permite la programación selectiva de frecuencia en el enlace ascendente.
- { Mejoras MIMO: LTE Advanced permite hasta 64 MIMO en enlace descendente y en el lado UE permite 4X4 en dirección de enlace ascendente [16].
- { Nodos de retransmisión: para disminuir los agujeros de bucle de cobertura, los nodos de retransmisión son una de las características propuestas en la versión 10. Los nodos de retransmisión o los eNBs de baja potencia extienden la cobertura del eNB principal en entornos de baja cobertura. Los nodos de relevo están conectados a Donner eNB (DeNB) a través de la interfaz [2].
- { Mejor coordinación de interferencia entre células (eICIC): eICIC se introdujo en la versión 10 de 3GPP para tratar problemas de interferencia en redes heterogéneas (HetNet). eICIC mitiga la interferencia en el tráfico y los canales de control. eICIC usa potencia, frecuencia y también dominio de tiempo para mitigar la interferencia intra-frecuencia en redes heterogéneas.
- { Agregación de portadores (CA): La CA presentada en la versión 10 es una forma rentable para que los operadores utilicen su espectro fragmentado distribuido en diferentes o mismas bandas con el fin de mejorar el rendimiento del usuario final según lo requerido por IMT-Advanced. El rendimiento del



usuario aumenta al enviar datos simultaneamente sobre dos o mas operadores. LTE-Advanced admite anchos de banda de hasta 100 MHz formados mediante la combinacion de hasta cinco portadores de componentes de 20MHz. Las portadoras contiguos y no contiguos pueden agregarse [6].

- { Soporte para redes heterogeneas: la combinacion de macrocelulas grandes con celulas pequenas da como resultado redes heterogeneas. La version 10 pretende dise~nar la especi cacion de detalle para redes heterogeneas
- { Mejoras de SON: La version 10 proporciona mejoras a las caracter sticas de SON introducidas en la version 10 que tambien considera procedimientos de autocorreccion

Release 11 (Enhancement to LTE Advanced) Esta version esta todav a en desar-rollo. Esta nueva version incrementar la agregacion de portadoras e introducira la comunicacion multipunto cooperativa Cooperative MultiPoint communication (CoMP), aumenta la e ciencia espectral, y mejora la e ciencia energetica [2, 6]. La version 11 incluye mejoras en LTE Funciones avanzadas estandarizadas en la version 10 y congelado en septiembre de 2012. Algunas de las mejoras importantes son :

- { Agregacion de operadores: Multiples avances de tiempo (TA) para la agre-gacion de portadores de enlace ascendente, Agregacion de portadoras intra-bandas no contiguas, cambios de capa f sica para soporte de agregacion de operador en TDD LTE.
- { Transmision y recepcion multipunto coordinado (CoMP): con CoMP, el trans-misor puede compartir carga de datos incluso si no estan ubicados. Aunque estan conectados por un enlace de bra de alta velocidad.
- { ePDCCH: Nuevo PDCCH mejorado introducido en la version 11 de 3GPP para aumentar la capacidad del canal de control. ePDCCH utiliza recursos PDSCH para transmitir informacion de control a diferencia de la version 8 PDCCH que solo puede usar la region de control de las subtramas.
- { Posicionamiento basado en red: en la version 11, se agrega soporte para

el posicionamiento del enlace ascendente utilizando se~nales de referencia de sondeo para mediciones de diferencia de tiempo tomadas por muchos eNB.

{ Minimizacion de la prueba de manejo (MDT): Las pruebas de manejo siem-pre son costosas. Para disminuir la dependencia en las pruebas de manejo, se introdujeron nuevas soluciones que son independientes de SON aunque muy relacionadas. MDT basicamente se basa en la informacion provista por la UE.

{ Control de sobrecarga Ran para comunicacion de tipo maquina: para dispositivos de tipo maquina, se ha especi cado un nuevo mecanismo en la version 11 donde la red en caso de comunicacion masiva desde dispositivos puede bloquear algunos dispositivos para enviar solicitudes de conexi3n a la red.

{ Dispositivos internos Co Existence: Hoy en d a, todos los dispositivos moviles suelen llevar transceptores de radio multiples como LTE, 3G, Bluetooth, WLAN, etc. Ahora bien, esta coexistencia genera interferencia. Para mitigar esta interferencia, la version 11 ha especi cado soluciones como se menciona a continuacion ( Soluciones de dominio de tiempo basadas en DRX, Soluciones de dominio de frecuencia, Denegaciones autonomas de UE)

{ Tecnolog a de ahorro de la bater a de telefono inteligente: Muchas aplica-ciones en telefonos inteligentes generan tra co de fondo que consume energ a de la bater a. La version 11 especi ca un metodo donde el UE puede in-formar a la red si necesita ser operado en modo de ahorro de bater a o en modo normal y en funcion de la red de solicitud del UE puede modi car los parametros de DRX.

Release 12 (Further enhancement to LTE Advanced) La version 12, que naliza en junio de 2014, busca aumentar la capacidad [6, 11]. Algunas de las principales caracter sticas :

{ Mejoras de celulas peque~nas: Las celulas peque~nas fueron compatibles desde el comienzo con caracter sticas como ICIC y eICIC en la version 10. La version 12 presenta la optimizacion y las mejoras para las celulas peque~nas,

incluidas las implementaciones en areas densas. La conectividad dual, es decir, la agregacion de portadoras entre sitios entre macro y peque~nas celulas tambien es un area de enfoque.

- { Mejoras en la agregacion de operadores: La versi on 12 ahora permite la agregacion de operadores entre operadores TDD coubicados y FDD. Adem as de la agregacion de operadores entre TDD y FDD, ahora tambien hay tres agregaciones de operadores posibles para un total de 60 Mhz de espectro agregado.
- { Comunicacion de tipo de maquina (MTC): se espera un gran crecimiento en la comunicacion de tipo de maquina en los proximos a~nos, lo que puede ocasionar una tremenda se~nalizacion de red, problemas de capacidad. Para hacer frente a esto, se de ne una nueva categor a de UE para las operaciones optimizadas de MTC.
- { Integracion WiFi con LTE: Con la integracion entre LTE y Wi , los operadores tendran mas control sobre la gestion de sesiones WiFi. En la version 12, la intencion es especi car el mecanismo para dirigir el tra co y la se-leccion de red entre LTE y WiFi.
- { LTE en espectro sin licencia: una operacion LTE en espectro sin licencia es uno de los elementos de estudio en la version 12. Las operaciones en ancho de banda del espectro sin licencia brindan muchos bene cios a los operadores como el aumento en la capacidad de red, carga y rendimiento.

Release 13 (Meeting the growing throughput demand) Su objetivo principal es satisfacer la creciente demanda de rendimiento y su congelamiento en diciembre de 2015.

- { Mejoras en agregacion de operadores: el objetivo en la version 13 es admitir la agregacion de operadores de hasta 32 CC (operadores de componentes) donde, como en la version 10, la agregacion de operadores se introdujo con soporte de solo 5 CC.
- { Mejoras para la comunicacion de tipo maquina (MTC): a partir de la version 12, hay mejoras adicionales en MTC, se esta de niendo una nueva categor a

de UE de baja complejidad para proporcionar soporte para ancho de banda reducido, alimentacion y soporte de larga duracion de la bater a.

- { LTE en mejoras del espectro sin licencia: el enfoque en la version 13 es la agregacion de la celda primaria del espectro con licencia con una celda secundaria del espectro sin licencia para satisfacer la creciente demanda de tra co.
- { Posicionamiento en interiores: en el lanzamiento 13 se esta trabajando para mejorar los metodos existentes de posicionamiento en interiores y tambien se estan explorando nuevos metodos de posicionamiento para mejorar la precision en interiores.
- { Tecnicas de transmision multiusuario mejoradas: la version 13 tambien cubre posibles mejoras para la transmision multiusuario de enlace descendente uti-lizando la codi cacion de superposicion
- { Mejoras MIMO: Hasta 8 sistemas MIMO de antena son compatibles actual-mente, el nuevo estudio en esta version buscar en sistemas MIMO de alto orden con hasta 64 puertos de antena

Release 14 El comienzo de la estandarizacion 5G La version 14 marcar el inicio del trabajo de la comunicacion movil 5G en 3GPP 5.3. Adem as de la continua evolucion de LTE, se estandarizar una nueva tecnolog a de acceso por radio, y estas dos tecnolog as juntas formaran un acceso de radio 5G. Mejorando los inconvenientes tecnolog cos de los releases antecesores y sobre varias areas clave: comunicacion de baja latencia, exhibilidad de espectro, comunicacion de tipo de maquina, tecnicas de transmision de multiples antenas y sitios multiples, y dise~no ultra delgado, y como pueden ser parte del proximo trabajo 5G en 3GPP. 5G consistira en la evolucion de LTE junto con una nueva tecnolog a de acceso de radio, que llamamos "NX" a continuacion. La evolucion de LTE se enfocar en mejoras compatibles hacia atras en el espectro existente hasta 6 GHz, mientras que NX se enfocar en un nuevo espectro, es decir, espectro donde LTE no esta desplegado [6, 11]. Aunque grandes cantidades de espectro contiguo son menos engorrosas de encontrar a frecuencias mas altas, las frecuencias mas bajas son

importantes para la cobertura de area amplia y las primeras implementaciones de NX pueden muy bien enfocarse en frecuencias moderadamente altas. Por lo tanto, NX podra operar desde menos de 1 GHz hasta cerca de 100 GHz.

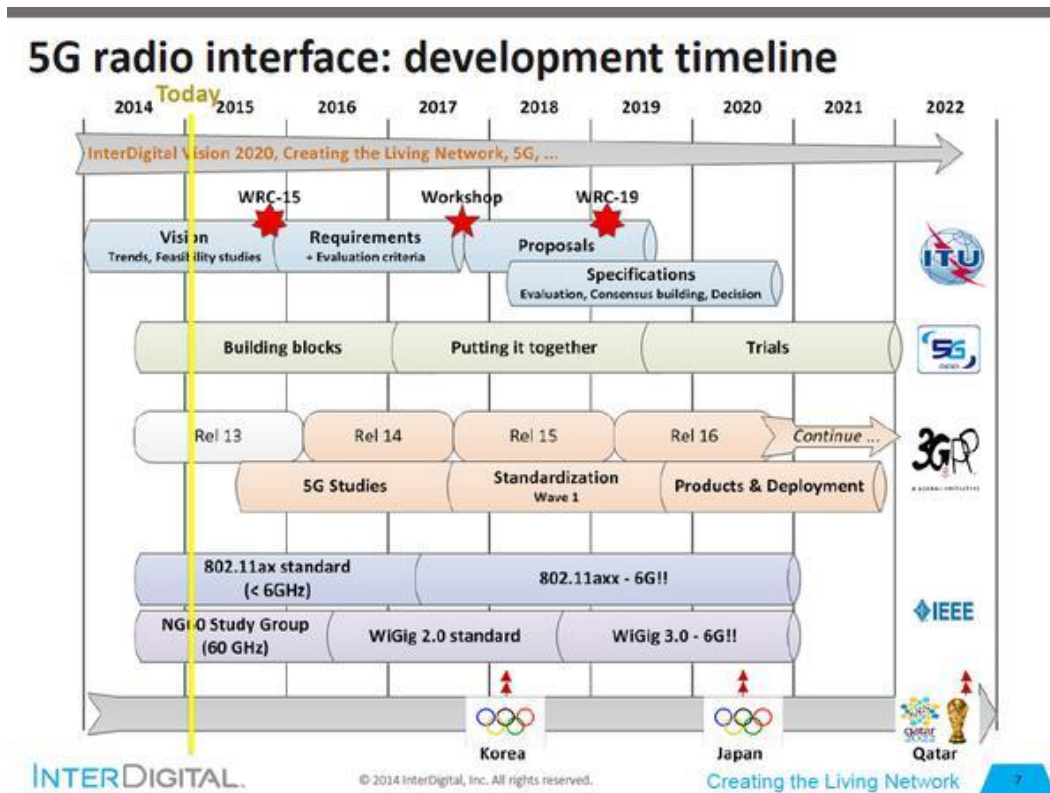


Figura 5.3: Linea de tiempo de desarrollo de tecnolog a 5G [6]

## 5.2 Tecnolog a de acceso

La interfaz LTE emplea dos tecnolog as principales OFDMA para enlace descendente y SCFDMA para enlace ascendente que se basan en la transmision en paralelo. Los sistemas FDMA 5.4 tradicionales emplean multiples canales de radio y asignan diferentes usuarios a cada uno [6, 2]. Los canales utilizados estan espaciados lo su ciento como para garantizar que cada uno cause la menor interferencia posible a sus vecinos.

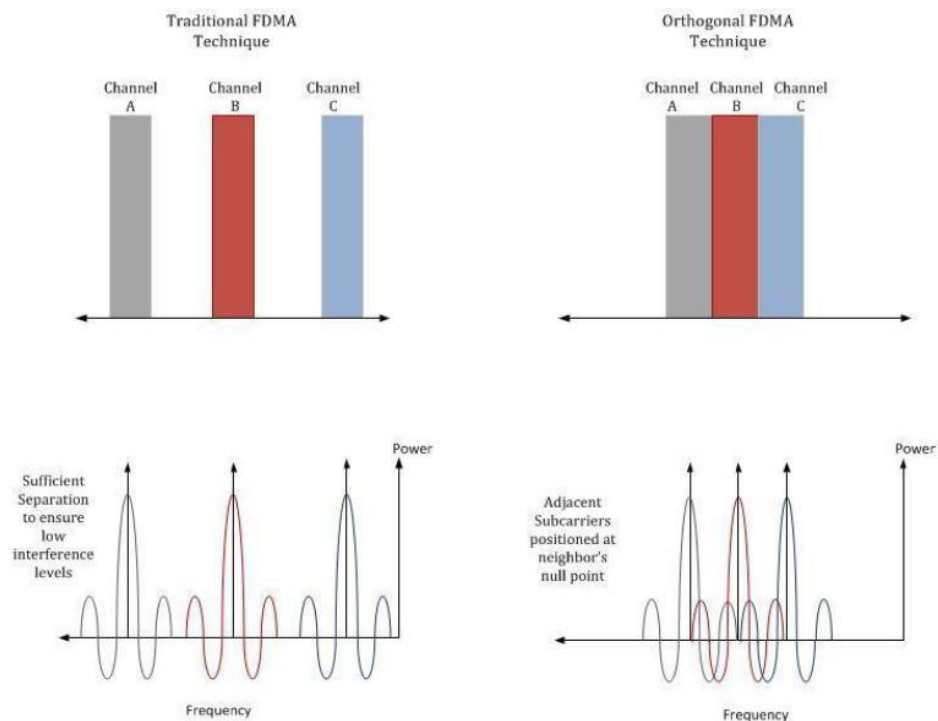


Figura 5.4: Este gra co ilustra la diferencia entre la tecnica FDMA tradicional y la ortogonal [6]

Los sistemas FDMA ortogonales adaptan este concepto de niendo subportadoras adyacentes estrechamente espaciadas, cada una de las cuales se posiciona en el punto nulo, donde su vecino no causa interferencia. Las subportadoras estrechamente espaciadas conducen a canales de radio de alta capacidad y permiten a OFDMA alcanzar velocidades de datos elevadas [6, 2]. De acuerdo con la tecnica OFDMA, los canales de radio se crean al unir varias subportadoras multiples que permiten que los datos se env en en paralelo. El metodo proporciona datos de alta velocidad de capacidad a unos pocos usuarios al admitir simultaneamente a muchos usuarios. En particular, cada canal de radio se divide en un conjunto de subportadoras individuales. Los datos de entrada en serie se separan en ujos de salida paralelos antes de la transmision. Cada ujo esta asignado para viajar a traves de una subportadora diferente. Los sistemas OFDMA 5.5, operan segun el principio de que parece transmitir datos en multiples subportadoras separadas distribuidas a traves de un amplio canal de radio. Los canales de enlace ascendente LTE emplean una adaptacion de OFDMA conocida como SCFDMA

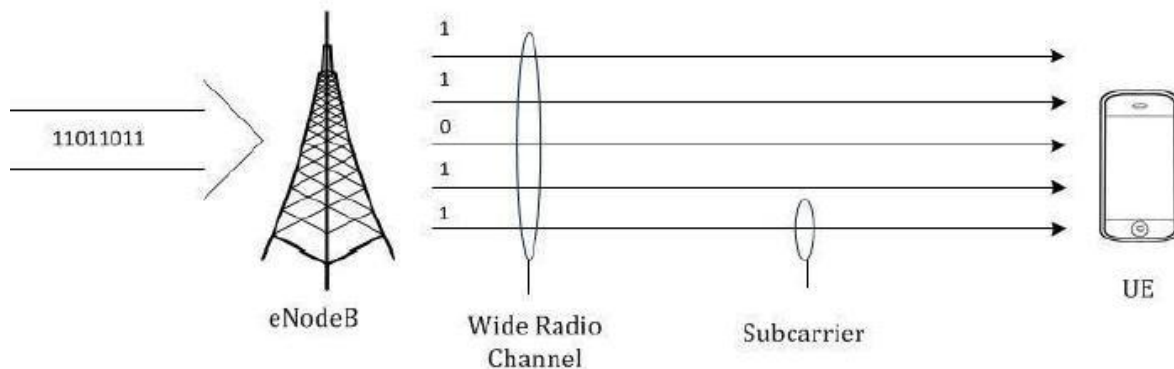


Figura 5.5: Este gra co ilustra como los datos entrantes se separan y se trans eren a traves de diferentes subportadoras a traves de la tecnica OFDMA [6]

5.6. Esta tecnolog a emplea las mismas subportadoras ortogonalmente espaciadas y las transformadas de Fourier como OFDMA, pero codi ca los datos en las subportadoras utilizando una tecnica diferente [2, 6]. El enlace ascendente basado en SCFDMA ofrece aproximadamente el 50% de la capacidad disponible en el enlace descendente, con un canal LTE de 20 MHz de ancho capaz de transportar alrededor de 50 Mbps de tra co de usuario. LTE admite metodos de expansion de capacidad basados en multiplexacion

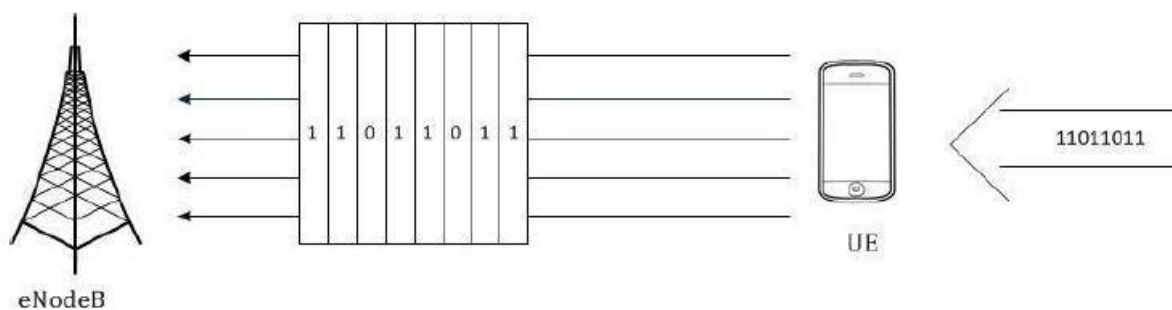


Figura 5.6: Este gra co ilustra como los datos entrantes se separan y se trans eren a traves de diferentes subportadoras a traves de la tecnica SC-FDMA [6]

espacial o tecnicas de antena multiple. Estas tecnicas emplean antenas multiples, espacialmente diversas para crear ujos separados de se~nales transmitidas que todas ocupan el mismo dominio de frecuencia o canal de radio [6, 2]. Hay varias formas en que estas

tecnicas pueden con gurarse, pero el metodo empleado en LTE se conoce como Entrada multiple y Salida multiple o MIMO.

## 5.3 Infraestructura de red LTE

La arquitectura de la red LTE deriva de las anteriores arquitecturas de GSM y UMTS. A diferencia de las otras redes, LTE esta dise~nada para soportar solo conmutacion de paquetes [3]. La arquitectura de red en LTE no admite servicios de conmutacion de circuitos. La red se compone de red de acceso conocida como EUTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network), EPC (Evolved Packet Core) y parte de los servicios IP del operador.

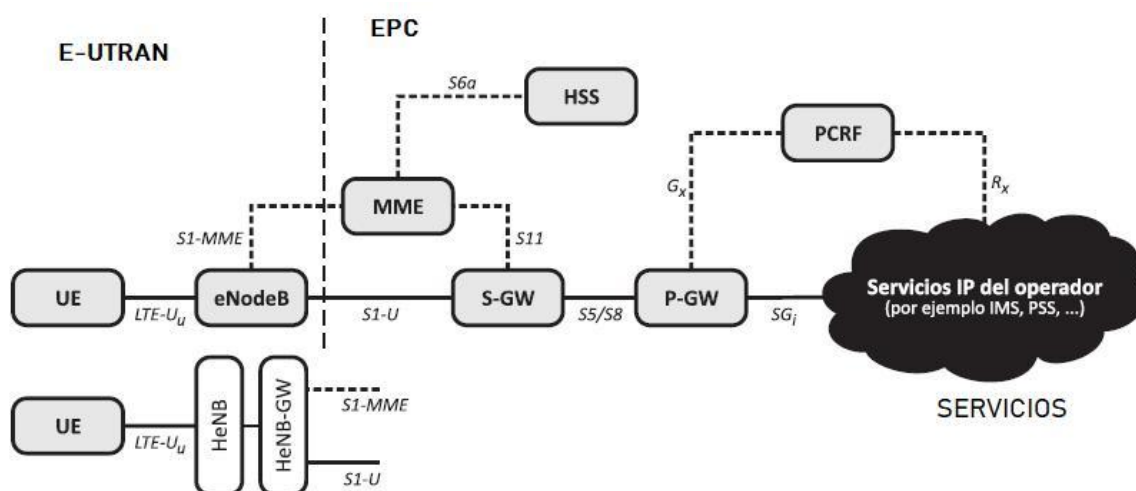


Figura 5.7: El gra co ilustra la arquitectura de red de 4G [6]

El gra co 5.7 ilustra la arquitectura de red de 4G, donde la parte de acceso E-UTRAN, se compone de estaciones base LTE denominadas eNodeBs (a partir del nombre de nodo B UMTS, con "e": la de "Evolved"). Estos eNodeBs son responsables de la gestion y asignacion de recursos radio, control de la movilidad, programacion de recursos para los enlaces ascendente y enlace descendente, cifrado de la transmision de datos en el canal radio y de la conectividad con EPC [2]. Si se despliegan femtoceldas, estas tambien constituyen una parte de E-UTRAN. En este caso se puede a~nadir una pasarela HeNB



(HeNB GW) entre HeNB y EPC para dar soporte a un gran número de HeNBs.

El EPC consta de varias entidades. El S-GW transporta todos los paquetes IP de todos los usuarios en una red. Sirve de anclaje de movilidad local para el handover entre eNodeBs [6]. El S-GW encamina y envía paquetes de y hacia los usuarios. Esto permite monitorizar la carga entre operadores, por ejemplo, en caso de itinerancia. La segunda entidad, el MME, controla y gestiona la señalización entre el UE y EPC incluyendo la autenticación, autorización, control de seguridad, el establecimiento de conexión entre el UE y la red, la itinerancia o roaming, y los procedimientos relacionados con la gestión de la ubicación del usuario. Por último, el P-GW es responsable de las acciones relacionadas con la calidad del servicio y la gestión del flujo. Esto significa que entre los paquetes de usuarios, aplica QoS para garantizar tasas requeridas de bits o de nivel de servicio tanto en el enlace descendente [11], como en el enlace ascendente. Se describe a continuación:

1. EUTRAN o Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network es la interfaz aérea del Sistema de Red de Cuarta Generación y es el reemplazo de las tecnologías UMTS y HSPA que se especificaron en las redes 3GPP. Consiste en UEs o Equipos de usuario que son los dispositivos a través de los cuales el usuario está conectado a la red y los ENodeBs que son las versiones evolucionadas de NodeBs [29, 6].
2. El EPC o Evolved Packet Core que es responsable de proporcionar conectividad siempre encendida, soporte de entrega y el transporte de los paquetes de voz.
3. La parte de Servicios que es responsable de proporcionar los servicios de Internet a los suscriptores.

#### Funcionalidad ENodeB :

ENodeB es una evolución de 3G Node B con funcionalidad de controlador de red de radio 3G. La combinación de estos dos componentes reduce la latencia a medida que se elimina la señalización entre el eNodeB y la red de acceso de radio.

Contiene los transmisores y receptores de radio que hacen la modulación y demodulación de las señales de radio, hace la codificación de corrección de errores

hacia adelante y todo el otro procesamiento requerido al crear y recibir la se~nal de radio.

Admite la funcionalidad del controlador de red de radio. En particular, gestiona los recursos de radio para que determine que se~nales de radio deber an asignarse y que con guracion para soportar el servicio deseado. Los programa, brinda acceso al Equipo de Usuario y determina cuando transmitir ciertos paquetes al usuario para cumplir con los requisitos de calidad del servicio, a traves de la asignacion dinamica de los canales de radio tanto en el enlace descendente como en el enlace ascendente.

Admite la funcionalidad del enrutador, incluidos los datos de usuario a la puerta de enlace de usuario SGW y la se~nalizacion a la entidad de gestion de la movilidad (MME), p. para actualizacion de ubicacion, operaciones, etc.

Admite la se~nalizacion directamente a otro eNodeB para preparar la operacion de transferencia. Durante el traspaso, los datos se anclaran en el SGW de modo que se enrutaran primero a un eNodoB y luego a otro, pero con un punto de anclaje en SGW que se proporciona para que ambos eNodeBs sean servidos por el mismo SGW .

Comprime y encripta el encabezado de los datos a traves de la interfaz de radio para el equipo del usuario con el n de proporcionar seguridad y una mejor eficiencia de funcionamiento al comprimir estos grandes encabezados de IP.

Funcionalidad PDN Gateway (PDN-GW) [2, 6]:

Proporciona acceso de puerta de enlace a PDN, p. La Internet.

Consulta al HSS para encontrar donde se encuentra realmente el usuario en este momento particular, porque en caso de que est en itinerancia en una red diferente, el PDN-GW debera reenviar ese paquete a otro lugar.

Es responsable de la asignacion de IP al Equipo de Usuario (o UE).

Es responsable del ltrado de paquetes por usuario mediante la "inspeccion pro-funda de paquetes". Esto se hace mirando las capas por encima de IP, p. Puertos UDP, direcciones de puerto TCP, as como las capas superiores para garantizar que el UE est utilizando canales autorizados para conectarse a servicios autor-izados.

Se conecta a PCRF (Funcion de reglas de pol tica y carga) donde obtiene infor-macion sobre la calidad del servicio y los servicios generales que estan aprobados para este usuario Esta informacion se usa junto con el ltrado de paquetes y la inspeccion profunda de paquetes para que el PGW pueda realmente hacer cumplir esas reglas y recopilar los datos necesarios para cobrar por esos servicios particu-lares.

Es responsable de la fabricacion de paquetes a nivel de transporte utilizando los puntos de codigo de servicios diferenciados para los paquetes IP en el enlace descendente. En este caso, el enlace descendente proviene de una red externa. Tambien algunos de los paquetes de enlace descendente es SGW viene desde el UMTS o el EPC.

Funcionalidad de la Entidad de gestion de la movilidad (MME) [?]:

Es responsable de la se~nalizacion y el control. Uno de los objetivos de SAE era mejorar la escalabilidad del sistema separando el control del transporte.

Puede servir a varios SGW y PGW.

Se trata de la se~nalizacion de UE directamente a MME (se~nalizacion indepen-diente) utilizada en RAN. Se llama se~nalizacion de Nivel Superior 3 o Se~nal de Estrato de No Acceso porque no depende de la tecnolog a de radio utilizada en la red de acceso.

Realiza un seguimiento de donde se encuentra realmente el UE en este momento para que sepa como dirigir las llamadas entrantes o las sesiones de datos.

Es responsable de paginar UE inactivos para llamadas sesiones entrantes.

Es responsable de la autenticación del UE.

Controla la señalización con SGW para configurar rutas de transporte para llamadas.

Serving Gateway Funcionalidad (SGW) [6, 10]:

Hace el traslado de paquetes para los datos del usuario.

Marca los paquetes en el enlace ascendente o descendente insertando el punto de código de servicio diferenciado correcto para que esos paquetes puedan recibir el tratamiento adecuado a fin de garantizar la Calidad del servicio.

Es un ancla para la movilidad de eNodeB o los trasposos que van desde un eNodeB a otro.

Funcionalidad de Funciones de Reglas de Política y Carga (PCRF) [10, 6]:

Toma decisiones de ejecución de la carga en su nombre.

Proporciona control de políticas y decisiones de control de cobro basadas en el uso. Admite la detección de uso de datos de servicio.

Administra políticas para administrar y controlar la calidad del

servicio. Servidor Home Subscriber Server (HSS) Funcionalidad [6, 2]:

HSS es un servidor de autenticación que almacena parámetros de autenticación aplicados para los usuarios.

Contiene los perfiles de usuario que incluyen información sobre los tipos de medios que los usuarios están autorizados a usar y sobre los servicios que se aplicarán a los usuarios.

EIR o Funcionalidad de Registro de Identidad del Equipo

Es una base de datos que contiene el IMEI o los teléfonos incluidos en la lista negra. Esto permite a los operadores evitar el uso de teléfonos robados en su red.

### 5.3.1 Nivel físico LTE/LTE-A

La capa física en LTE / LTE-A es diferente a la utilizada en UMTS. Se utilizan las técnicas de acceso OFDMA y SC-FDMA en el enlace descendente y ascendente, respectivamente [2, 6]. También se define para LTE un mayor espectro de bandas de frecuencia. En este momento se definen de 4G-25 bandas de frecuencia (17 bandas apareadas para FDD y 8 no apareadas para TDD). Por ejemplo se consideran, las bandas de 2 o 2,6 GHz alrededor de 3,5 GHz y bandas inferiores a 1 GHz (700 - 900 MHz). El método de acceso múltiple OFDMA se basa en OFDM. OFDM es una transmisión de múltiples portadoras combinando TDMA y FDMA (ver Figura 5.8) [7]. El ancho de banda total se divide en subportadoras espaciadas relativamente densas. Para permitir esta separación densa de subportadoras, se debe garantizar el espectro de las subportadoras ortogonales. Esto significa, que la banda de frecuencias superior de una subportadora se superpone con la banda inferior de otras subportadoras. El TDMA se caracteriza porque múltiples usuarios comparten cada subportadora a partir de las técnicas de división de tiempo. Como resultado, todos los recursos radio disponibles se dividen en tiempo y frecuencia y pueden ser compartidos por varios usuarios. Un intervalo de tiempo en una subportadora representa un símbolo OFDM. Cada símbolo contiene datos modulados y la modulación puede ser diferente para cada símbolo. Para evitar interferencia entre símbolos (ISI, InterSymbol Interference) se introduce un preámbulo cíclico (CP, cyclic prefix). El CP está compuesto por las últimas muestras del símbolo y su propósito es evitar la superposición de símbolos individuales [7, 6]. Una debilidad de OFDMA consiste en que hay diferencias significativas en la potencia asignada a cada subportadora ya que los datos de usuario se modulan de forma independientemente sobre subportadoras individuales. Esto significa que a una subportadora se le puede asignar un nivel alto de potencia mientras que para otra subportadora puede ser muy bajo [11]. Por consiguiente, los datos en cada subportadora se modulan sin tener en cuenta la información modulada en otras subportadoras. Esto conduce a valores altos en la relación entre la potencia máxima y la potencia media (PAPR, Peak to Average Power Ratio), lo que influye negativamente en el consumo de energía. En el enlace ascendente se utiliza SC-FDMA en lugar de OFDMA para reducir la PARP. En SC-FDMA, todos los datos transmitidos en el mismo intervalo de tiempo son modulados

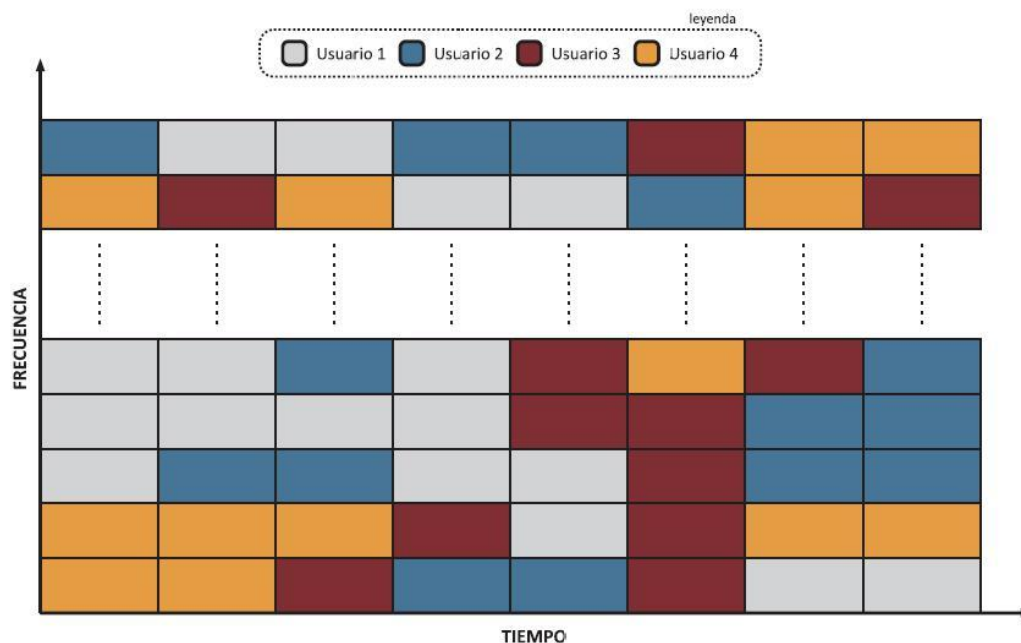


Figura 5.8: OFDMA y asignación de recursos en LTE/LTE-A [6]

como una combinación lineal de estos símbolos de datos [6]. Por lo tanto, un símbolo en una subportadora contiene componentes relacionados con la información mapeadas en otras subportadoras. De esta manera, se reduce el PAPR y, en consecuencia, se minimiza la interferencia y el consumo de batería del UE. Como UMTS, LTE soporta FDD y TDD para la transmisión de datos. Se definen dos tipos de tramas de capa física (denominados como Tipo 1 y Tipo 2), tal como se muestra en la Figura 5.9. El tipo 1 es aplicable a la transmisión FDD, bien en duplex completo o en semiduplex mientras que el Tipo 2 se destina para TDD. En ambos casos, la transmisión se organiza en tramas con una duración de 10 ms. Cada trama se divide en diez subtramas. En ambos tipos de tramas, cada subtrama consta de dos ranuras temporales de igual duración, de 0,5 ms. Las subportadoras en sistemas LTE (-A) son equiespaciadas con distancia de 15 kHz. Al igual que en HSDPA, LTE / LTE-A utiliza modulación adaptativa y codificación [10, 11] [25, 6]. La modulación y la tasa de codificación se seleccionan de acuerdo con el nivel de calidad de la señal. En LTE / LTE-A se utilizan tres modulaciones posibles: QPSK, 16-QAM, 64-QAM. En la trama FDD, se consideran las diferentes frecuencias para cada dirección. Por lo tanto, se pueden utilizar diez subtramas para la transmisión

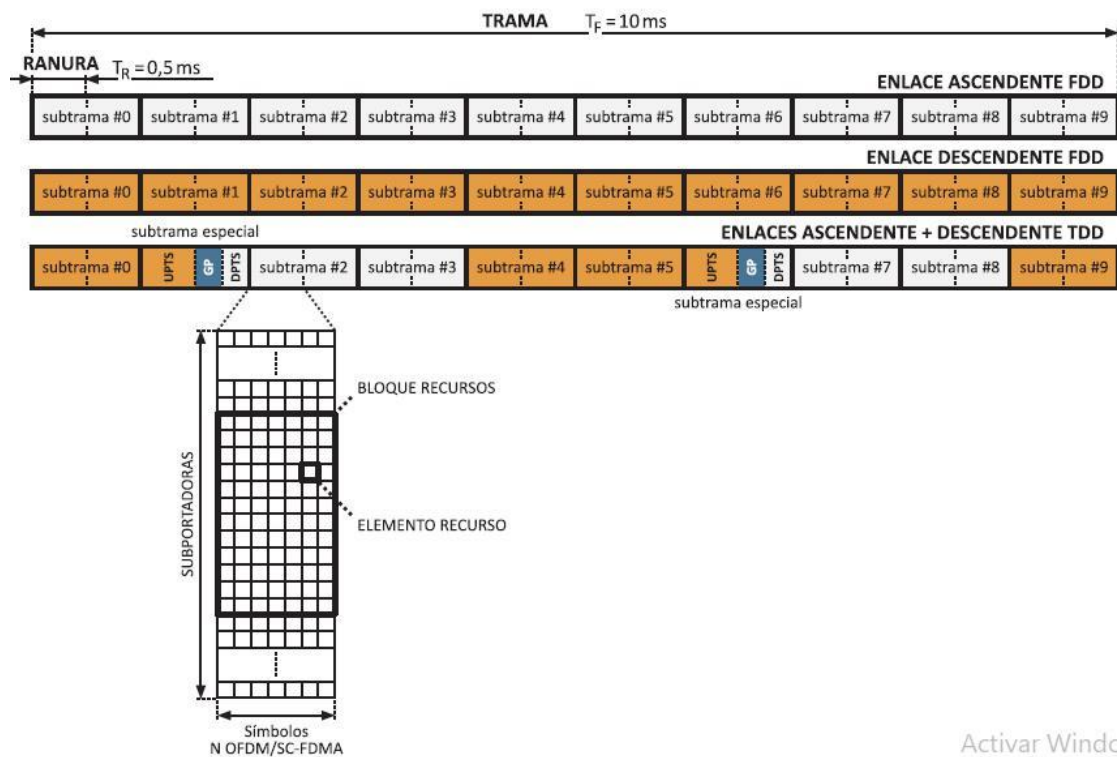


Figura 5.9: Estructuras de trama LTE-A TDD y FDD [6]

simultanea en el enlace descendente (DL) y en el enlace ascendente (UL). Este enfoque conduce a la distribución equitativa de recursos radio en ambos sentidos si se utiliza el mismo ancho de banda [2, 31]. En la trama TDD, las dos direcciones de transmisión ocupan la misma frecuencia. LTE-A define varias configuraciones diferentes para la asignación de la subtrama a cualquiera DL o UL de forma que es posible que haya diversas proporciones entre los recursos asignados a DL y UL pudiendo variar desde 2:3 hasta 9:1. Generalmente, cada subtrama puede ser dedicada a la transmisión DL (en la Tabla 5.10 se denota como subtrama D), a la transmisión UL (denotado como subtrama U), o a la combinación de ambas. En este último caso, la subestructura se llama como un subtrama especial (S) [2, 11]. Las subtramas primera y sexta se asignan siempre a la dirección DL sin tener en cuenta la configuración seleccionada. Por otra parte, la segunda subtrama siempre está dedicada a la subtrama S y la tercera está asignada a transmisión de UL. A partir de la duración del período de conmutación entre DL y UL, la séptima subtrama se puede asociar tanto a D (período de conmutación de 10 ms) o subtrama S (período de conmutación de 5ms) [1]. El contenido de las otras subtramas depende de la configuración DL-UL, tal como se define en la tabla 5.10. La subtrama

Configuración DL-UL	Período de conmutación DL-UL [ms]	Subtrama #									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

Figura 5.10: Asignación de subtramas de acuerdo a la configuración DL-UL para TDD [6]

S consta de tres partes: la parte de transmisión DL, conocida como ranura temporal



del piloto del enlace descendente (Downlink Pilot Time Slot, DwPTS), el intervalo de guardia (Guard Period, GP) y la parte de transmision UL denominada ranura temporal del piloto del enlace ascendente (Uplink Pilot Time Slot, UpPTS). La parte DwPTS generalmente esta ocupada por los datos DL como en la subtrama convencional D, pero con longitud reducida. Su longitud varía entre tres y doce símbolos según la duración de la subtrama S. Los UpPTS pueden consumir uno o dos símbolos SC-FDMA

y se utiliza únicamente para la transmision de canales de control (es decir, nunca para transmision de datos de usuario). El GP está ubicado justo detrás de los DwPTS y se utiliza para la conmutación de antenas de modo de transmision a modo de recepción, y viceversa. No se pueden transmitir datos de usuario durante el GP [2, 3].

## 5.4 Transmision con multiple antenas

La transmision con múltiples antenas representa la técnica que utiliza más de una antena para la transmision y/o recepción. Este enfoque permite alcanzar mayores tasas de bits, debido a la creación de varios canales paralelos. El uso de múltiples antenas también puede conseguir una ganancia de diversidad contra los efectos del desvanecimiento si las antenas están desplegadas relativamente lejos una de la otra ya que en este caso las características del canal no están correlacionadas [6]. Múltiples antenas se puede implementar en un solo lado (receptor o transmisor) o en ambos lados. El primer caso se denota como SIMO (Single Input/Multiple Output) o MISO (Multiple Input / Single Output) para múltiples antenas de recepción o múltiples antenas de transmision, respectivamente. La situación con múltiples antenas en ambos lados es conocida como MIMO (Multiple Input / Multiple Output) [2]. Debe tenerse en consideración que en UMTS, solo se asumen dos antenas en ambos lados. En LTE y LTE-A, se pueden implementar hasta cuatro y ocho antenas en cada lado de MIMO respectivamente (entrada y salida). La asignación de los datos modulados (símbolos) a las antenas individuales se realiza en un bloque de mapeo de antena. Como las transmisiones están desplegadas en los mismos recursos de tiempo / frecuencia, las transmisiones paralelas introducirán interferencia. Por lo tanto, se debe aplicar un procesamiento avanzado de señales de forma similar a la formación de haz [11].

### 5.4.1 Formacion del haz

Si solo hay una unica antena, la transmision de un usuario introduce interferencia en los otros usuarios en la misma celula. Si se utilizan multiples antenas, se puede gestionar la transmision de forma que se reduzca la interferencia a partir de lo que se denomina formacion de haz. En el caso de la formacion de haz, se controla la direccion de la transmision y se adapta para enfocar la potencia de transmision solo hacia el usuario deseado y minimizar la interferencia a otros usuarios. Es decir, la potencia de transmision esta dirigida solo a la direccion del receptor y se reduce al minimo la potencia en otras direcciones. La formacion de haces se lleva a cabo mediante la multiplicacion de la se~nal transmitida por distintos coeficientes para ajustar la magnitud y la fase de las se~nales de antena individuales. Para garantizar la transmision en una direccion apropiada, el transmisor debe ser consciente de la ubicacion del terminal receptor. Los coeficientes se calculan a partir del conocimiento de la direccion, o bien se seleccionan a partir de datos predeterminados por el estandar. La direccion se puede conocer a partir de los informes de calidad de canal de los usuarios obtenidos por eNodeB [2, 6]. Sin embargo, la determinacion de la direccion no se define para LTE

## 5.5 Nodos de retransmision

Un nodo de retransmision LTE puede retransmitir o repetir la se~nal de un eNode B en areas que anteriormente podrian haber sido difciles de penetrar, incluidas las areas donde las se~nales de un eNode B estaban bloqueadas por edificios grandes, colinas u otras obstrucciones [11].

Los reles LTE funcionan con dos instancias de interfaz aerea LTE:

Una instancia se proyecta hacia los UE y proporciona cobertura estandar LTE.

La otra instancia mantiene un enlace de regreso al eNB controlador o donante y se usa para backhaul. Este control de eNB se conoce como un dispositivo donante ya que proporciona o dona los canales de radio que utilizar el Nodo de Retransmision [6].

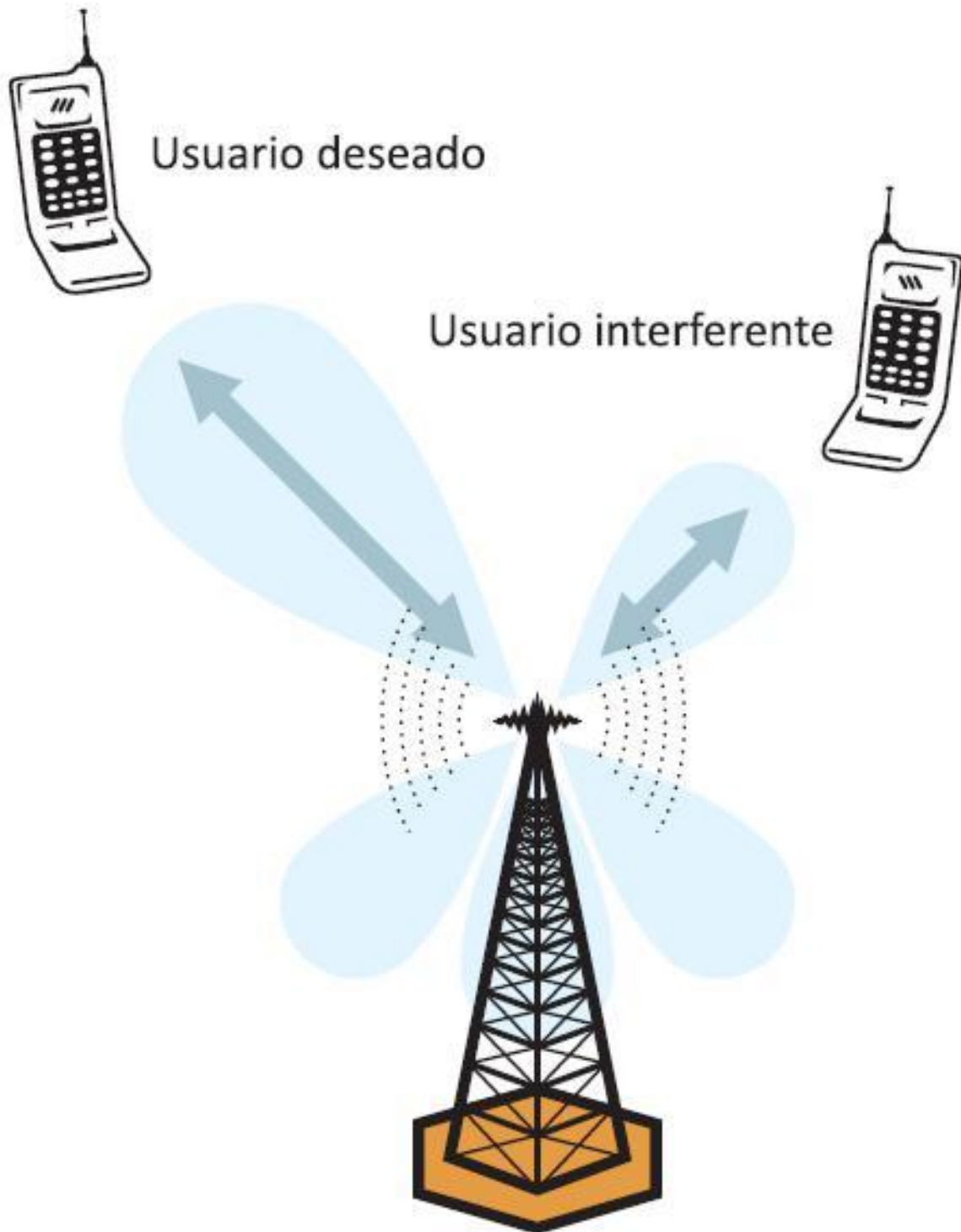


Figura 5.11: Principio de formacion del haz [6]

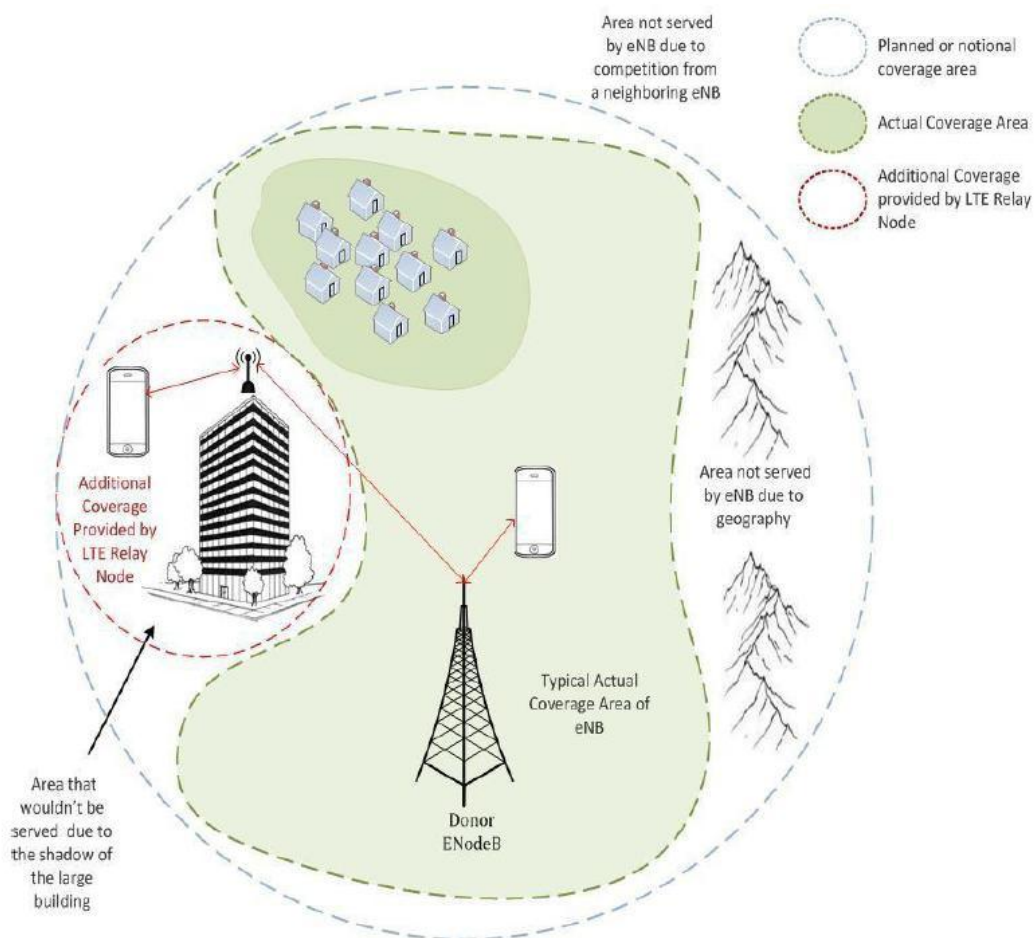


Figura 5.12: Este gra co ilustra como se aumenta la cobertura real mediante el uso de un nodo de retransmision LTE [6]

### 5.5.1 Femtoceldas

Tal como muestran diversos estudios, la mayor parte de tráfico del usuario se genera dentro de edificios (indoor). Las redes 4G asumen el uso tanto de las bandas de frecuencias pequeñas (por ejemplo, 800/900 MHz), como de las bandas superiores a 2 GHz. Las frecuencias más altas tienen un peor comportamiento respecto a la propagación de la señal. Este problema se acentúa especialmente en entornos que no están al aire libre (indoor). Por eso, los usuarios de indoor no pueden conseguir siempre una calidad de señal suficiente que se corresponda con sus necesidades. Esos problemas son abordados por un nuevo concepto: las denominadas femtoceldas (en LTE-A, se utiliza el acrónimo HeNB). La femtocelda puede aumentar el rendimiento para usuarios de interiores y, también permite descargar a las macroceldas ofreciendo servicio a los usuarios que reciben una señal de baja calidad a partir de una macrocelda [6]. La femtocelda es una estación base de bajo coste que normalmente será desplegada en dependencias del usuario, tales como una casa o una oficina. La femtocelda está conectada a la red troncal (Internet) a través de una conexión cableada, como DSL (Digital Subscriber Line) o de fibra óptica. Esta conexión troncal proporciona los datos del usuario de la femtocelda a un destino (un servidor o usuario de destino) y viceversa. La potencia de transmisión de la femtocelda permite normalmente solo cubrir el espacio interior para ofrecer una calidad de señal suficiente a los usuarios cercanos [2]. La potencia máxima de transmisión de una femtocelda es aproximadamente de hasta 21 dBm. Por lo tanto, la cobertura de la femtocelda solo es del orden de decenas de metros. Las femtoceldas pueden ofrecer tres tipos de acceso:

Acceso abierto: Todos los usuarios en el área de cobertura de la femtocelda pueden conectarse a ella. Todos los usuarios conectados a la femtocelda comparten con la misma prioridad tanto los recursos radio como la conectividad al backbone o segmento principal. Una de las ventajas del acceso abierto consiste en la posibilidad de descargar una macrocelda dando servicio a varios usuarios áreas que transmiten muchos datos o bien dando servicio a usuarios que están lejos de la macrocelda. Por otro lado, si se despliegan muchas femtoceldas con acceso abierto puede haber un elevado número de handovers [6].

Acceso cerrado: La femtocelda con acceso cerrado admite solo aquellos usuarios incluidos en una lista denominada Grupo cerrado de abonados (Close Subscriber Group, CSG). Dicha lista es administrada por usuario que esta a cargo de la femtocelda. Típicamente, se supone que la lista CSG incluye unos pocos usuarios (se asume un número aproximado entre cuatro u ocho usuarios para femtoceldas domésticas). En el caso de acceso cerrado, solo una cantidad limitada de usuarios que guran en el CSG comparten los recursos radio acciones y recursos internos a la red de la femtocelda. Por otro lado, se debe tener en cuenta la posible interferencia que haya con usuarios que no consten en la lista CSG para evitar un deterioro en sus prestaciones a través de otras redes [26].

Acceso híbrido: El acceso híbrido es una combinación entre el acceso abierto y cerrado. En este caso se define la lista de CSG y una parte de la capacidad de transmisión de la femtocelda solo es accesible por los usuarios de dicha CSG. El resto de los recursos puede ser compartido con otros usuarios no CSG [6]. Una cuestión crítica en relación con el despliegue de las femtoceldas es el aumento de la interferencia. La interferencia de femtoceldas se puede clasificar entre la interferencia de una femtocelda y los usuarios de macroceldas (interferencia cross-tier) y la interferencia entre distintas femtoceldas (interferencia co-tier). El impacto negativo de estas interferencias depende también de la asignación de recursos de radio entre femtoceldas y macroceldas. Se pueden identificar dos formas de asignación de recursos radio:

Despliegue co-canal: En este caso hay un solape entre las bandas de frecuencias para las macroceldas y las femtoceldas; en consecuencia para mitigar la interferencia se requiere un control de potencia en la transmisión de la femtocelda, o una asignación de recursos radio adecuada.

Despliegue de canal ortogonal (o dedicado): Se asignan distintos conjuntos de portadoras para macroceldas y femtoceldas. De esta manera se elimina múltiples la interferencia cross-tier. Por otra parte, no hay un uso eficiente de los recursos radio.

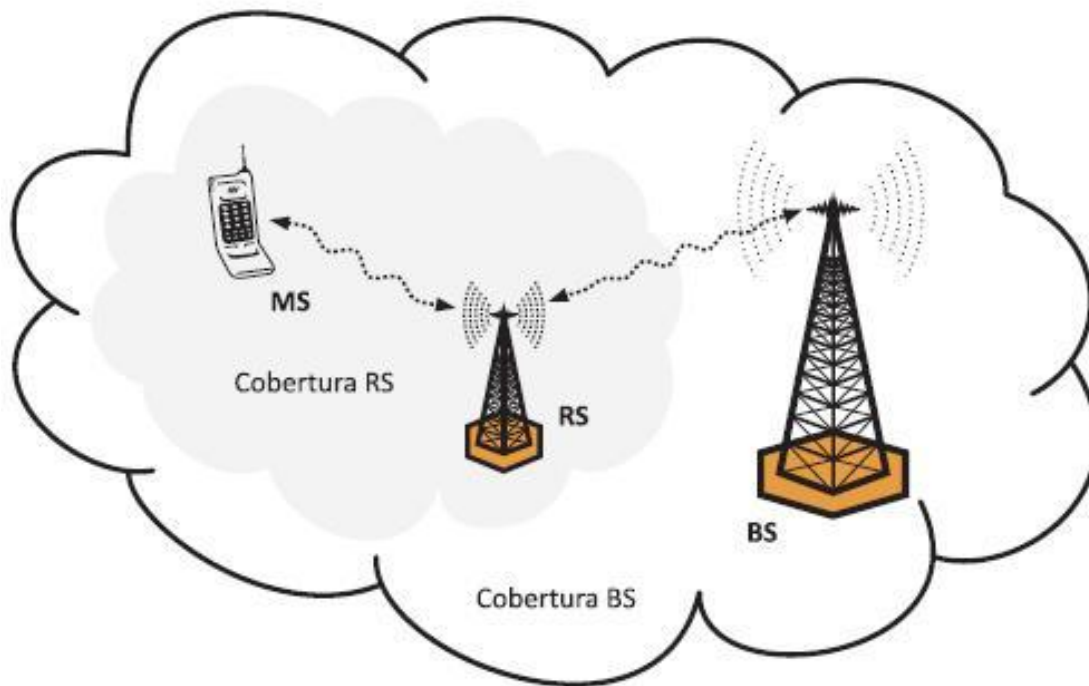
### 5.5.2 Realy

Junto con las femtoceldas, en redes 4G estan de nidas las estaciones repetidoras llamadas relays. En general, los relays son nodos eNodeB simplificados (y por lo tanto de bajo coste) que transmiten datos desde el eNodeB al usuario. El intercambio de datos entre el UE y la red se encamina a traves de uno o varios relays [6]. Cada parte de la comunicacion (por ejemplo, desde el UE hasta el relay, desde el relay al eNodeB, etc.) se conoce como un salto en la comunicacion. Por lo tanto, la comunicacion mediante relays tambien se conoce como comunicacion multisalto. Los relays se pueden utilizar para ampliar la cobertura de un eNodeB o para aumentar el rendimiento en el area es-pec ca, como se muestra en la gura 5.13. Para aumentar el rendimiento, se despliega

un relay dentro del Área de cobertura del eNodeB. El rendimiento mejora cuando se reduce la distancia entre nodos de comunicacion y de esta forma el nivel de la se~nal que recibe el nodo de destino o UE aumenta. Para ampliar la cobertura, el relay se ubica cerca del l mite del area de cobertura de la celda a la que da servicio un eNodeB. A diferencia de las femtoceldas, se espera que los relays esten totalmente controlado por los operadores y que su conexion a la red sea a traves de un enlace inalambrico compartido con las conexiones de datos de usuarios servidos por el eNodeB [2]. Los relays se pueden clasi car atendiendo a su movilidad en:

**Relay jo :** Este relay esta permanentemente instalado en el mismo lugar sin que tenga movilidad. La Release 10 de LTE-A contempla por primera vez dichos relays.

**Relay movil :** Se asume que seran desplegados en veh culos en movimiento, tales como autobuses o trenes. En este caso, el relay realizar operaciones de handover entre diferentes eNodeB. Durante el movimiento del relay se debe garantizar el traspaso entre eNodeB incluso si el relay movil sirve UEs. Los reles moviles son contemplados por primera vez en la Release 11 [1].



a) Mejora del rendimiento

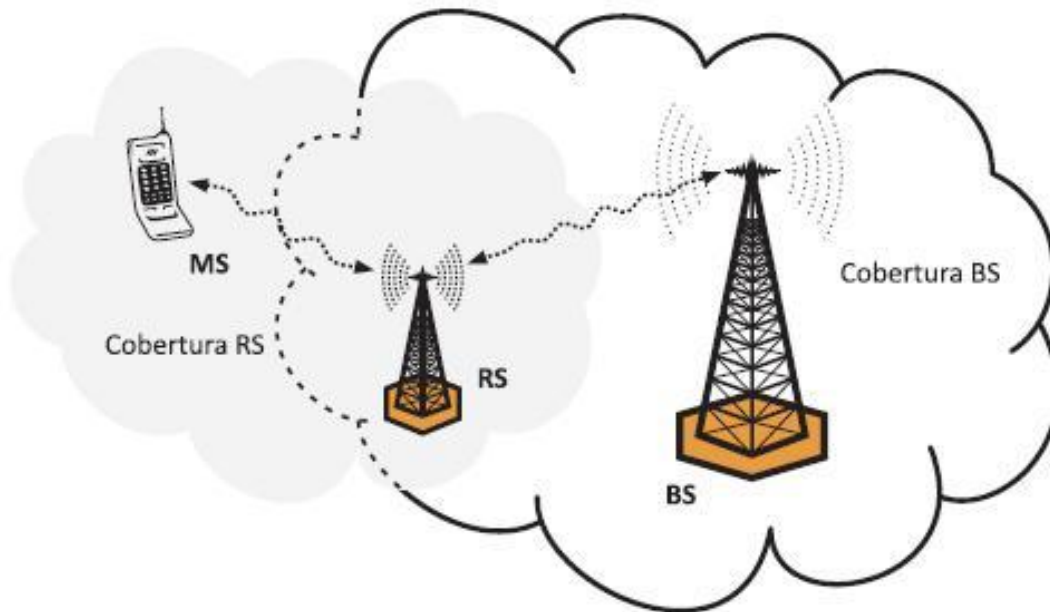


Figura 5.13: Despliegue de relays y objetivo [6]



## 5.6 Agregacion del portador

Es la característica más destacada de LTE Advanced. Ofrece una exhibición de multiplexación inversa que permite a un UE aumentar sustancialmente la velocidad de datos global que puede lograr al permitir que eNB programe capacidad para ello en múltiples células o operadores simultáneamente. Los UE que admiten la característica son capaces de mantener conexiones con múltiples celdas. En el conjunto de agregación de cada UE habrá una celda primaria (o Pcell) y hasta cuatro celdas secundarias (o SCells). La señalización de RRC y NAS y otras funciones administrativas son manejadas por SCell. SCells simplemente proporciona capacidad de usuario adicional [25]. Aunque siguiendo las directrices de la release 10 de LTE-A se puede conseguir una

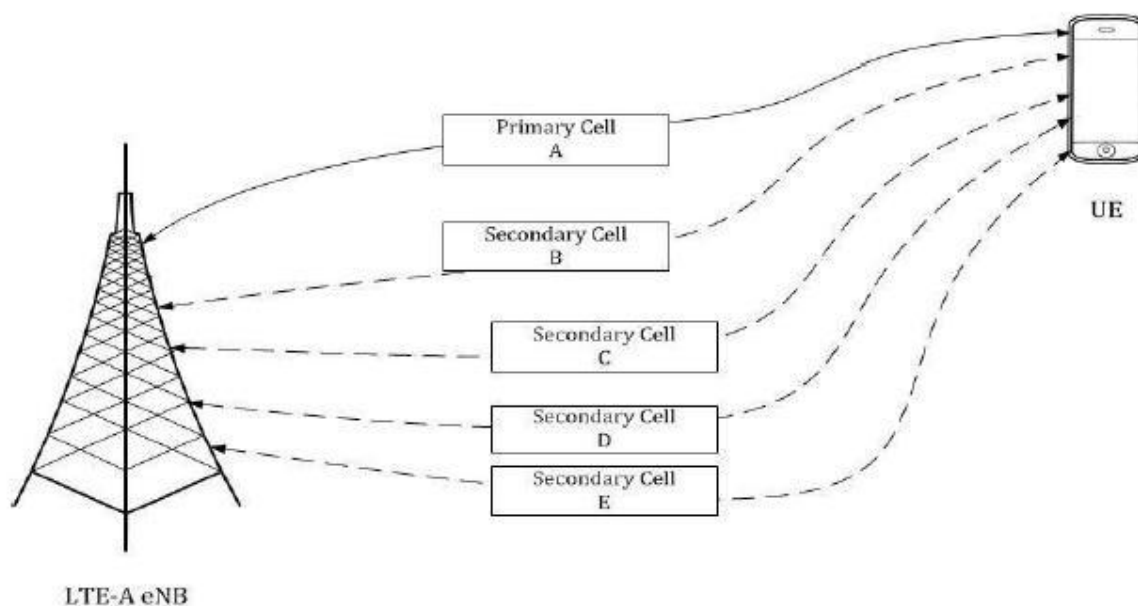


Figura 5.14: Este gráfico ilustra cómo un eNodeB puede asignar capacidad a un UE en múltiples celdas simultáneamente [6]

mejor eficiencia espectral respecto a versiones anteriores de LTE, no se puede alcanzar la tasa de pico máxima de 1 Gbps requerido por IMT-Avanzada para redes móviles 4G utilizando bandas de frecuencia convencionales con anchura de hasta 20 MHz. Para cumplir este requisito, el ancho de banda debe aumentar. LTE-A combina los recursos

radio a través de múltiples bandas (portadoras) y realiza una transmisión paralela a un UE. Este enfoque se conoce como agregación de portadoras. Esta técnica es una mejora de DC utilizada en UMTS donde solo se pueden combinar dos portadoras. En LTE-A, cada portadora utilizada para la transmisión de datos se conoce como portadora de componentes. LTE-A permite utilizar para una transmisión hasta cinco portadoras de componentes en el enlace descendente y cinco en el enlace ascendente. En consecuencia, se puede utilizar un ancho de banda de hasta 100 MHz. Tanto para el enlace descendente como para el enlace ascendente, uno de los componentes se indica como componente primario y todos los otros son componentes secundarios. Esto significa que, cada UE debe tener un componente primario y ninguno, uno o varios (hasta cuatro) componentes secundarios. El componente principal se utiliza para la señalización permanente en modo inactivo (es el modo de ahorro de batería en caso que no hay comunicación de datos). Los componentes secundarios son utilizados para aumentar el ancho de banda para la comunicación de datos, pero no para la señalización en modo de inactividad. La asignación de componentes primarios y secundarios es específica del UE, es decir, que puede variar según el UE [6]. No es necesario que las portadoras agregadas asignadas a un UE sean contiguas. Tal como se muestra en la siguiente figura 5.15 hay tres tipos de agregación portadoras:

Agregación intra-banda con componentes contiguos - es la forma más fácil de agregación de portadoras ya que la banda resultante puede ser visto como un único componente desde el punto de vista de la UE. Por lo tanto, no hay requerimientos especiales ni en el UE ni en HeNB (no se requieren sin transceptores o receptores adicionales) [9].

Agregación intra-banda con componentes no contiguos - la señal no puede ser interpretada como una sola transmisión, de forma que se requieren más transceptores / receptores, de forma que el coste de los equipos aumenta.

Agregación inter-banda (con componentes no contiguos) - nuevamente son necesarios más transceptores / receptores debido a la separación de las portadoras en frecuencia [9].

Todos los UEs con soporte de agregación de portadora pueden acceder en paralelo a

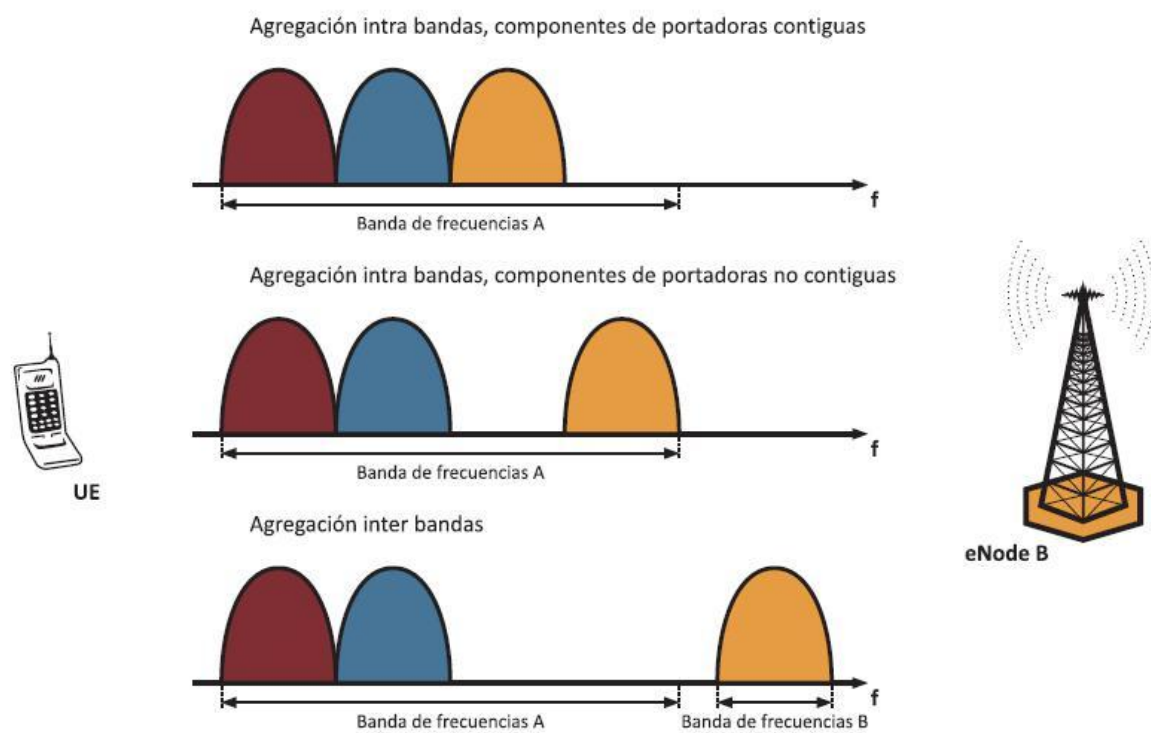


Figura 5.15: Tipos de agregacion de portadora [6]

todas las componentes. Si un UE no es compatible con la agregación de portadora, puede acceder a cada portadora individualmente de acuerdo a la forma convencional de LTE para asegurar la compatibilidad con versiones anteriores. La agregación de portadora está disponible para TDD, así como para los modos FDD pero se debe aplicar el mismo modo para todos los componentes usados por un UE. Además, se debe mantener la misma configuración de subtramas de enlace ascendente y de enlace descendente para TDD mientras que la configuración de subtramas especiales pueden ser diferentes para las componentes individuales [6].

## 5.7 Servicios y aplicaciones en LTE/LTE-A

Al igual que en los anteriores estándares de comunicación móvil, LTE / LTE-A permite la ejecución simultánea de varias aplicaciones con diferentes niveles de calidad de servicio (por ejemplo, llamadas de voz y descarga de FTP o videoconferencia) [2]. Es evidente que las llamadas de voz o de video requieren menor variación de retardo que la descarga de FTP para satisfacer la calidad de conexión de los usuarios. Por otro lado, la descarga de FTP requiere un mayor rendimiento y menor tasa de pérdida de paquetes para minimizar el tiempo de descarga del archivo. Para habilitar estos diferentes niveles o requisitos de calidad, LTE-A permite definir varios servicios con requisitos específicos y distintos para cada uno. Para distinguir las necesidades individuales se introduce el concepto de identificador de clase de calidad de servicio (QCI, QoS Class Identifier). El QCI define nueve clases de acuerdo con un conjunto de cuatro parámetros de transmisión, tal como se muestra en la tabla 5.16 [6, 2]. En primer lugar, indica si una tasa de bits está garantizada (GBR - Guaranteed Bit rate) o no (Non-GBR). En el caso de GBR se asigna una cantidad fija de recursos radio de forma permanente a un servicio, de forma que no es necesario solicitar estos recursos de forma continua. La cantidad de recursos radio se establece en el inicio de la conexión y se corresponde con

la tasa de bits máxima que requiere dicho servicio. En caso de no GBR, los recursos no están reservados para el servicio permanentemente. La cantidad de recursos depende de los requisitos reales del servicio y de la cantidad de recursos disponibles en la red. Por lo tanto, este tipo de servicios no garantiza la velocidad de bits [2, 11]. El segundo

QCI	GBR / Non-GBR	Prioridad	Máximo retardo de paquete previsto	Tasa de pérdida o error de paquete	Ejemplo de servicio
1	GBR	2	100	$10^{-2}$	Llamadas de voz (conversación)
2	GBR	4	150	$10^{-3}$	Llamadas de video (conversación)
3	GBR	5	300	$10^{-6}$	Video streaming (no conversación)
4	GBR	3	50	$10^{-3}$	Juego en tiempo real
5	Non-GBR	1	100	$10^{-6}$	Señalización
6	Non-GBR	7	100	$10^{-3}$	Voz, video (streaming en directo)
7	Non-GBR	6	300	$10^{-6}$	Video (streaming con almacenamiento)
8	Non-GBR	8	300	$10^{-6}$	WWW, FTP, email, mensajería
9	Non-GBR	9	300	$10^{-6}$	Como QCI 8, pero con menor prioridad

Figura 5.16: Clases de servicio en LTE-A [6]

parametro importante de ne la prioridad de los paquetes. Este parametro indica la prioridad en caso de procesamiento. Por ejemplo, si un nodo esta congestionado, los paquetes con mayor prioridad son transmitidos antes de los paquetes con prioridad inferior[6]. El parametro siguiente es el maximo retardo de paquetes previsto y representa el maximo retardo de un paquete de una clase QCI determinada. El ultimo parametro, tasa de perdida o error de paquete esta relacionado con la frecuencia con la que los paquetes se pierden o se reciben erroneamente durante la transmision. Se representa la cantidad de paquetes perdidos o paquetes recibidos con algun error que no permite su posterior procesamiento [2].

## 5.8 Limitaciones de la cuarta generacion de tecnologia

Ninguna tecnologia es completa en si misma y este tambien es el caso con 4G. Aunque la cuarta generacion de tecnologias se compara favorablemente con sus predecesoras, todavia hay limitaciones por abordar. Estos estan relacionados principalmente con el rendimiento de la red inalamblica y la calidad del servicio [2, 6]. Para ser mas especificos, estas limitaciones son:

Estacion movil: para una gran variedad de servicios y redes inalamblicas en sistemas 4G, los terminales de usuario multimodo son esenciales para adaptarse a las diferentes redes inalamblicas, eliminando as la necesidad de multiples terminales independientes. El enfoque mas prometedor es el del software de radio. Desafortunadamente, la tecnologia de radio de software actual no es completamente factible para todas las redes inalamblicas [11].

Red inalamblica: con el apoyo de terminales de usuario 4G, es posible elegir cualquier red inalamblica disponible para cada sesion de comunicacion en particular. La seleccion de red correcta puede garantizar la QoS requerida por cada sesion. Sin embargo, es complicado seleccionar una red adecuada para cada sesion de comunicacion, ya que la disponibilidad de la red cambia de vez en cuando [2].

Calidad del servicio: la calidad de servicio (tambien conocida como QoS) en las redes 4G sera un desafio importante debido a las tasas de bits, caracter sticas de canal, asignacion de ancho de banda, niveles de tolerancia a fallas y soporte de transferencia entre redes inalambricas heterogeneas. El soporte de QoS puede ocurrir a nivel de paquete, transaccion, circuito, usuario y red [6].

### 5.8.1 Sistemas 4G evolucionados y mejoras

LTE advanced es la respuesta de 3GPP a IMT advanced y se describio por primera vez en 3GPP Release 10. Las caracter sticas principales de esta tecnolog a (4G+) son la agregacion de operadores, las caracter sticas MIMO mejoradas y el uso de los reles LTE. A LTE se le asigno originalmente la banda de 2600 MHz, pero se de nieron rapidamente bandas de frecuencia adicionales para varias regiones. Se han de nido de niciones de bandas separadas para la variante TDD y DDT de LTE. Carrier Aggregation es la caracter stica mas destacada de LTE Advanced. Ofrece una exhibilidad de multiplexacion inversa que permite a un UE aumentar sustancialmente la velocidad de datos global que puede lograr al permitir que eNB programe capacidad para ello en multiples celulas o operadores simultaneamente [26].

# CAPITULO 6

## Sistemas moviles de 5G

Una vez cada decada aparece una nueva generacion de tecnolog a de telecomunicaciones moviles: las comunicaciones analogicas en 1980, los servicios de voz y texto en la decada de 1990, la banda ancha movil seguida en el cambio de siglo y los sistemas de evolucion a largo plazo se introdujeron en 2010. Como demanda para los datos moviles y los servicios de alta velocidad crece, la necesidad de desarrollar una nueva generacion de sistemas de telecomunicaciones es ahora urgente. Por lo tanto, parece bastante probable que 2020 sea el a~no en que la tecnolog a de la Quinta Generacion har su entrada en el mercado global de las telecomunicaciones. Cada generacion de telecomunicaciones introduce nuevos servicios o mejora los ya existentes ver gura 6.1. A diferencia de los sistemas predecesores, que se centraron en proporcionar servicios de voz y datos, la investigacion de los operadores para 5G se centra en los usuarios y sus necesidades [14]. Por lo tanto, la tecnolog a de quinta generacion, excepto por el aumento de la velocidad de los datos y la mejora de la calidad del servicio, traer enormes cambios en la forma en que se utiliza la red hasta hoy. Debido a la aparicion de innovaciones tecnologicas como Internet of Things Technologies (IoT), se espera que para 2020 la cantidad de dispositivos conectados a la red sea mil veces mayor. El equipo del usuario ya no estar limitado a telefonos inteligentes o tabletas, sino que habra dispositivos inteligentes como vestibles, electrodomesticos, veh culos, etc. Estos dispositivos ampliarian sus capacidades a diversas aplicaciones como juegos en la nube, prueba de identidad, sensores y vida inteligente de soporte en general [27].



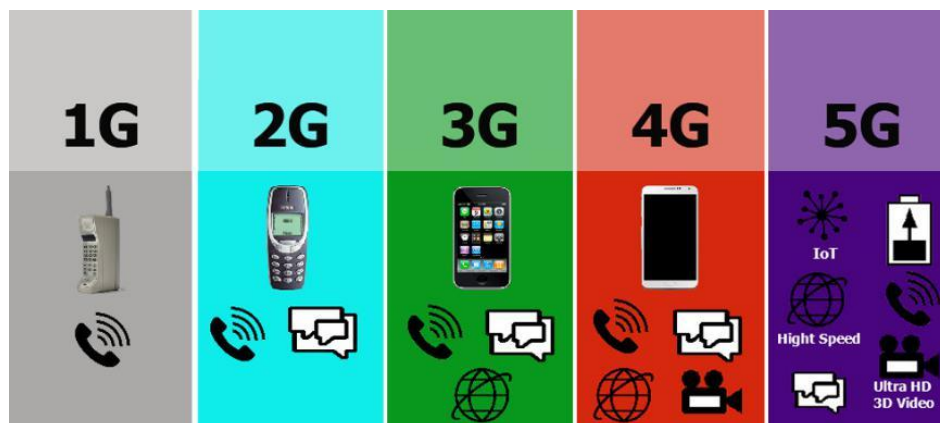


Figura 6.1: Este gra co ilustra la evolucion de la red desde 1G a la 5G de Redes [14]

## 6.1 Servicios del 5G

Dado que las Tecnologías de 5ta. Generación (5G) aun no se han desarrollado o implementado, los servicios que van a brindar o brindar y la forma en que se diseñar la red solo pueden ser asumidos. La investigación de industrias y operadores todavía se encuentra en una fase exploratoria; sin embargo, los requisitos y visiones generales para 5G ya están en discusión y se presta mayor atención a los servicios, el espectro, la capacidad y el diseño central. La quinta generación de telecomunicaciones, además de las mejoras de la red, brinda nuevos servicios y casos de uso que se conciben como el motor de la tecnología [30]. Se espera que estos servicios vayan más allá del acceso móvil a Internet básico y cubran el trabajo interactivo, las aplicaciones inteligentes, el almacenamiento en la nube, los juegos en tiempo real, etc.

### 6.1.1 Banda ancha móvil

Mobile Broadband es uno de los casos de uso clave que impulsa los requisitos para 5G. El mayor enfoque se da en proporcionar acceso a servicios de banda ancha en todas partes [27]. Estos servicios son principalmente aplicaciones en la nube o servicios de transmisión que requieren disponibilidad y conectividad permanente. En particular:

Cloud Storage está impulsando el crecimiento de las velocidades de datos del en-

lace ascendente, ya que todo se carga y almacena en la nube, por lo que se requieren mayores velocidades de datos.

Las aplicaciones en la nube, como los juegos en tiempo real o la transmisión en vivo, son casos de uso que están relacionados principalmente con el entretenimiento, que es muy esencial para los usuarios. Por lo tanto, se requiere una mayor capacidad de banda ancha móvil [12].

La Realidad Virtual es otro caso de uso exigente que se espera que sea un servicio común entre los usuarios de la red para el entretenimiento y la recuperación de información. Este tipo de aplicación requerirá un gran ancho de banda y una baja latencia más allá de las capacidades de LTE, y por lo tanto tiene el potencial de ser un modelo comercial clave para las redes 5G [27].

Broadband Access Everywhere es un caso de uso muy desafiante en términos de cobertura y conectividad. La sociedad conectada móvil necesitará acceso de banda ancha para estar disponible en todas partes, por lo que se debe especificar una tasa de datos de usuario mínima [12].

### 6.1.2 Smart City con Internet of Things (IoT)

**Internet de las cosas** Una ciudad inteligente es un lugar donde las tecnologías digitales se utilizan para proporcionar servicios más eficientes a sus ciudadanos. Estos servicios podrán reducir los costos y el consumo de energía, y beneficiar a sectores como la atención de la salud, el uso de recursos, los sistemas de transporte y la seguridad pública. El concepto de ciudad inteligente tiene como objetivo proporcionar una administración más receptiva e interactiva y una mejor forma de vida para sus cohabitantes. Esto podrá lograrse mediante el establecimiento de redes de sensores inteligentes que también podrán identificar las condiciones para el costo y el mantenimiento eficiente de la energía de la ciudad o el hogar [15]. Además, se espera que entre 2020 y 2030 la cantidad de dispositivos conectados a la red crezca hasta mil veces debido a la aparición de tecnologías de Internet de las cosas (también conocido como IoT). Estas tecnologías desempeñarán un papel importante en la experiencia del usuario mejorando su vida

cotidiana ver gura 6.2.

Se espera que Automotive sea un sector muy prometedor para los usuarios, ya que permite la interaccion en tiempo real entre usuarios y veh culos. Los servicios como los juegos en tiempo real, la transmision de video y, en general, el entretenimiento para los pasajeros deben ser compatibles en todas partes, incluso a altas velocidades, proporcionando as una mejor experiencia de usuario. Por lo tanto, se requieren alta disponibilidad y movilidad. Otro caso de uso que tambien es muy interesante y exigente es la comunicacion de veh culo a veh culo (tambien conocido como V2V) [4]. Se espera que todos los veh culos esten conectados a la red, proporcionando la ubicacion, el tra co, las condiciones del camino, los accidentes automovil sticos y otra informacion util a otros veh culos, aumentando as la seguridad del tra co. La comunicacion Veh culo a Infraestructura tambien es un caso de uso que se espera que contribuya a la optimizacion del tra co vial. Esto podr a lograrse mediante la interaccion en tiempo real de los semaforos con otros veh culos, proporcionando informacion como la reduccion del tra co de la carretera de esta manera retrasos en los viajes. Finalmente, se espera que la siguiente fase sea veh culos controlados a distancia o autodirigidos. Este ser a un caso de uso muy exigente ya que requiere una comunicacion rapida entre otros veh culos autopropulsados. Sin embargo, el estuche de uso automotriz agrega una gran cantidad de equipos conectados a la red, por lo que se requiere una mayor capacidad de ancho de banda, muy baja latencia e hiperbilidad.

La salud es otro sector que tambien podr a beneficiarse de las telecomunicaciones moviles. En particular, las aplicaciones de monitoreo, tratamiento o medicina a distancia podr an estar disponibles para los usuarios. Estos servicios requieren la conexion de dispositivos tales como sensores portatiles que pueden proporcionar parametros tales como ritmo card aco, presion arterial y temperatura. Como estas aplicaciones podr an ser vitales, el sistema debe ser capaz de proporcionar alta disponibilidad y con habilidad.

Los Wearables inteligentes, como la ropa y los sensores portatiles, seran ampliamente utilizados en el futuro. Estos sensores podran medir y ocasionalmente

transmitir diversos datos de salud o ambientales, como presión arterial, temperatura corporal, niveles de contaminantes en el aire, etc. La implementación de este caso de uso es desafiante ya que requiere mayor capacidad, conectividad y con habilidades siempre activas.

Sensor Networks es un caso de uso muy interesante ya que se implementará en muchos sectores, como la comunicación de vehículos, la gestión de semáforos, la supervisión del entorno, la medición y otros servicios que requieren comunicaciones ultrarrápidas.

La logística es un sector que también se beneficiará de las telecomunicaciones móviles. El seguimiento del inventario y los paquetes podrá habilitarse mediante dispositivos sensores o información basada en la ubicación de sistemas. La implementación de este caso de uso requiere una amplia cobertura e información de ubicación con alta precisión [4].

El concepto Smart Grid fue creado para controlar el consumo de energía. Esto se hace configurando redes de sensores inalámbricos que se interconectan y recopilan información sobre los comportamientos de proveedores y usuarios, mejorando así la eficiencia, habilidad y economía de la producción.

Smart Antenna es un concepto que se creó para proporcionar una mejor eficiencia de red a los usuarios. Esto se hará utilizando técnicas tales como el procesamiento de señalización, seguimiento y escaneo que permiten alterar la dirección del rayo y permitir comunicaciones más directas que limitan la interferencia y aumentan la capacidad total de la celda.

La seguridad pública es un caso de uso que es necesario considerar en el diseño de la tecnología de quinta generación. Algunas de las necesidades de seguridad que posiblemente podrán incluirse requieren el despliegue de sensores inalámbricos y dispositivos de rastreo. Estos podrán ser utilizados para la detección de intrusiones, la vigilancia de la contaminación biológica y del aire y el seguimiento del personal de emergencia. También se pueden incluir los servicios de emergencia

de solicitud y respuesta en tiempo real que permiten la comunicacion directa entre el usuario y el grupo local de seguridad publica (como la policia local) [15]. La implementacion de este caso de uso requiere disponibilidad, latencia cero e informacion de ubicacion con able.

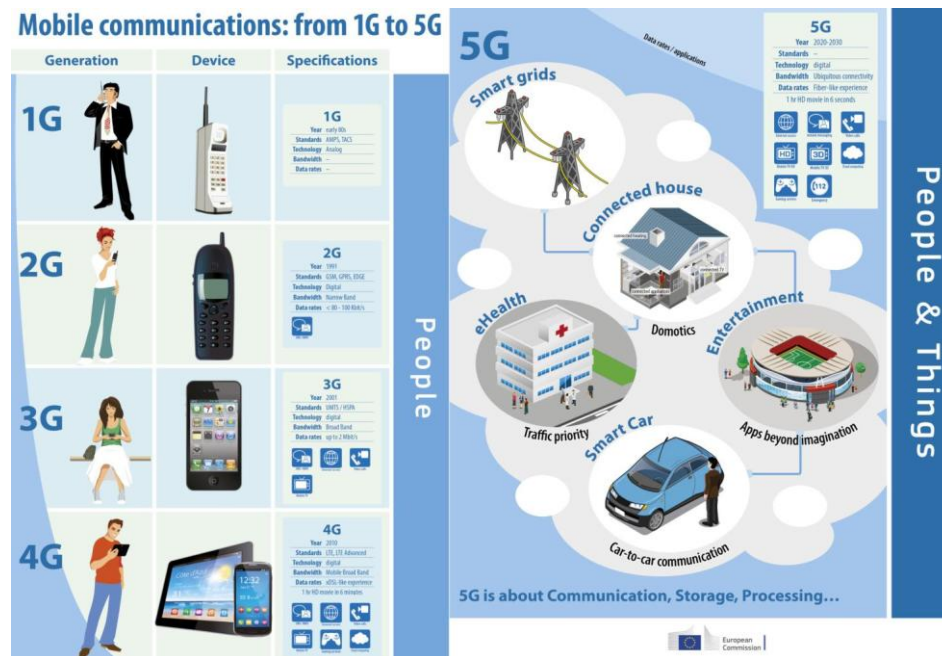


Figura 6.2: Evolucion de la smart city hacia 5G [30]

## 6.2 Principios de dise~no de quinta generacion

Aunque la necesidad de desplegar un nuevo sistema de red no es apremiante por el momento, las industrias y universidades ya han comenzado la investigacion para el desarrollo de la proxima generacion de telecomunicaciones [6]. Las redes de quinta generacion se enfrentan a importantes desaf os de dise~no con el n de cumplir con todos los requisitos de servicio que se describen anteriormente [31]. Estos requisitos ya estan especi cados entre operadores y estan relacionados principalmente con la mejora de la experiencia del usuario, el rendimiento del sistema, el funcionamiento de la red y los servicios prestados. Para ser mas espec cos, los requisitos para cada sector son: Uno

de los principales desafíos de los sistemas de telecomunicaciones de quinta generación es la mejora de la experiencia del usuario. Los sistemas 5G deberán ser capaces de proporcionar una experiencia de usuario coherente a lo largo del tiempo con una latencia mínima, altas tasas de datos y una movilidad perfecta.

**Latencia reducida (< 1ms)** La reducción de la latencia juega un papel importante no solo en la mejora de la experiencia del usuario sino también en el soporte de Internet táctil, la realidad aumentada y otros casos de uso. En particular, la reducción de la latencia a 1 ms podrá conducir a lograr altas tasas de datos y tiempos de respuesta de procedimiento rápidos, pero también podrá introducir nuevos casos de uso como el control remoto de máquinas, etc [6].

**Mayor movilidad del usuario** Para 2020, el año en que se espera que 5G se suministre comercialmente, habrá una demanda creciente de servicios móviles en vehículos. Algunos de estos servicios van a ser la evolución natural de los ya existentes, como la navegación y el entretenimiento, pero también habrá otros completamente nuevos como la conducción autónoma, las comunicaciones de vehículo a vehículo, la seguridad del tráfico y otros servicios. Por lo tanto, existe una necesidad apremiante de una mayor movilidad del usuario, independientemente de los tipos de células del entorno [6].

**Mayores tasas de datos (10 Gbps)** Se ha proyectado que en la próxima década, los servicios como los juegos en tiempo real, la realidad aumentada, los vehículos controlados a distancia, los servicios en la nube y las comunicaciones máquina a máquina serán comunes entre los usuarios. Para cumplir con estos requisitos de servicio, los sistemas de Quinta Generación deben alcanzar una velocidad de datos de 10 Gbps [6].

**Por velocidad de datos del usuario (1 Gbps)** Se estima que para el año 2020 habrá una nueva clase de servicios con gran cantidad de datos como la realidad aumentada, Internet táctil, etc. Para cumplir este requisito, los sistemas de quinta generación deberán proporcionar una tasa de datos por usuario mínima de 1 Gbps. ofreciendo de este modo una experiencia de usuario mejorada para los suscriptores [6].

Bajo consumo de batería Un requisito clave para el despliegue de redes 5G es la reducción del consumo de energía en los dispositivos. Los nuevos casos de uso que se presentarán cuando el 5G esté disponible comercialmente requieren una operación ininterrumpida de los dispositivos. Dichos casos de uso podrán ser remotos servicios de salud, automotriz, realidad virtual, etc. Por lo tanto, se requiere una vida prolongada de la batería para dispositivos 5G; al menos tres días para un teléfono móvil y hasta quince años para un dispositivo sensor.

Robustez y Resistencia En un futuro próximo, las redes 5G deberán ser capaces de admitir nuevos casos de uso tales como servicios de emergencia, comunicaciones de tipo de máquina y todo tipo de casos de uso que requieren siempre conectividad y alta confiabilidad [6]. También se pronostica que los Sistemas de Quinta Generación reemplazarán todas las redes existentes como PSTN y serán la principal fuente de comunicación que garantiza la capacidad de defenderse contra ataques de seguridad, especialmente en aplicaciones de misión crítica como seguridad pública, redes inteligentes y salud. supervisión. Por lo tanto, los sistemas 5G deben garantizar robustez y resistencia para proporcionar una mejor calidad de servicios y aplicaciones más confiables.

### 6.2.1 Experiencia de usuario

### 6.2.2 Rendimiento de sistema

Los sistemas 5G deberán proporcionar una mejor red que pueda admitir la conexión de una mayor cantidad y variedad de dispositivos. Se necesita un mejor rendimiento del sistema para satisfacer la variabilidad de usuarios y casos de uso [24].

Mayor capacidad del sistema (x1000) Como se mencionó anteriormente, los sistemas 5G traerán nuevos casos de uso tales como redes de sensores, automóviles y otros servicios que requieren la conexión de más dispositivos. Como resultado, la red debe expandirse para admitir miles de millones de dispositivos conectados. Esta expansión ya está especificada a una capacidad de área inalámbrica mil veces mayor [12].

**Conectividad masiva de dispositivos (x100)** Se estima que para 2020 la cantidad de dispositivos y dispositivos conectados a la red crecera hasta cien veces. Los sistemas 5G deber an ser capaces de soportar ese numero de conexiones. La implementacion de sistemas masivos de conectividad de dispositivos es necesaria [12].

**Eficiencia del espectro** Se necesita lograr una mejor eficiencia espectral para extender la capacidad de trafico y soportar velocidades de datos mas altas. Para que los operadores cumplan con este requisito, se espera que se use una nueva gama de frecuencias para las comunicaciones moviles, proporcionando capacidad adicional del sistema y anchos de banda mas amplios [12].

### 6.2.3 Despliegue de red

Las redes de quinta generacion deben desplegarse de forma que puedan beneficiar economicamente a las industrias y los usuarios [18].

**Reduccion de costos para dispositivos** Un requisito muy desafiante ante que las industrias deben superar es la reduccion de costos en los dispositivos que se conectan a la red. El surgimiento de Internet of Things trae nuevos casos de uso que requieren la conexion de miles de millones de dispositivos, como electrodomesticos, sensores, dispositivos portatiles, etc. Para permitir esta vision, las industrias deben reducir el costo de estos dispositivos y servicios, ofreciendo soluciones asequibles para todos usuarios [18].

**Eficiencia de costo** Con un aumento esperado en el trafico total de la red, y la necesidad de seguir siendo competitivo, la proxima generacion de redes moviles deber a proporcionar un costo beneficio significativo sobre la generacion actual. La mejora del costo deber a ser al menos tan buena o posiblemente mucho mejor que la que experimentamos al pasar de 3G a 4G [1].

**Escalabilidad** Uno de los desafios mas importantes que deben cumplirse en la implementacion de 5G es la escalabilidad del sistema. En particular, como ya se pronostica, la cantidad de dispositivos conectados aumentar en el orden de



cientos de veces, principalmente debido a la aparicion de Internet of Things Technologies. Por lo tanto, las redes 5G deber an ser capaces de escalar con elegancia para manejar este crecimiento, as como las transmisiones de datos de una gran cantidad de dispositivos. Ademas, las redes 5G deber an ser capaces de admitir servicios convencionales de alta velocidad de datos y baja latencia junto con aplicaciones M2M que requieren anchos de banda mucho mas bajos [23]. Del mismo modo, muchos dispositivos en redes 5G seran estacionarios o nomadas y no requieren soporte de movilidad o solo soporte de movilidad ocasional. Por lo tanto, los dise~nos de redes 5G no deben asumir el soporte de movilidad para todos los dispositivos y servicios, sino que proporcionan movilidad bajo demanda solo a aquellos dispositivos y servicios que lo necesiten [1].

#### 6.2.4 Servicios mejorados

Los sistemas 5G deber an proporcionar servicios que se mejoraran con seguridad, mayor conectividad, disponibilidad y con habilidad.

Mayor conectividad y disponibilidad Fifth Generation of Networks traer nuevos casos de uso tales como las comunicaciones de veh culo a veh culo, conduccion remota y redes de sensores de monitoreo de la salud. Como estos servicios pueden ser cr ticos siempre se requieren conectividad y disponibilidad [2].

Con habilidad La tecnolog a 5G deber a permitir altas tasas de con habilidad de 99.999% o mas para los casos de uso que lo demanden, en particular aquellos bajo la categor a de ultra alta con habilidad y casos de uso de latencia ultrabaja. Para casos de uso para los cuales la con habilidad puede ser un problema menor, la tasa de con habilidad puede ser del 99% o incluso menor dependiendo de las necesidades de compensacion asociadas [14].

Seguridad Los sistemas 5G deber an poder proporcionar todas las funciones de seguridad necesarias para ofrecer servicios seguros y protegidos a los usuarios. Aplicaciones tales como redes inteligentes, telemedicina, control industrial, seguridad publica y automotriz, tienen estrictos requisitos de seguridad para defenderse de

intrusiones y garantizar operaciones ininterrumpidas. Sin embargo, este requisito es bastante desafiante ya que los operadores deben mantener el costo bajo en dispositivos y servicios [2].

## 6.3 Red de Acceso de Radio de Quinta Generacion

Uno de los impulsores clave para el desarrollo de los sistemas de telecomunicación de quinta generación es el crecimiento continuo de la demanda de mayor capacidad y mayores velocidades de datos [2]. Se espera que el tráfico de datos inalámbricos crezca hasta mil veces hasta 2020 impulsado por la aparición de las tecnologías de Internet of Things, permitiendo así que más suscriptores, máquinas y objetos utilicen la misma celda de red simultáneamente. Para satisfacer esta demanda, los operadores deben enfocarse en la implementación de la red de acceso de radio [6]. Hay tres formas de mejorar la transmisión de acceso por radio:

Agregando más espectro, mejorando la eficiencia espectral o agregando más infraestructura.

Los componentes clave de la tecnología incluyen una nueva estandarización para la tecnología de acceso que se utilizará.

Nuevas formas de onda y otras tecnologías potenciales.

### 6.3.1 Transmisión RAN Espectro

Las estimaciones, que se basan en las tecnologías existentes, muestran que durante la próxima década habrá un aumento de mil veces en la capacidad de la red junto con un aumento de cien veces en los dispositivos conectados. Tal aumento requerirá el uso de bandas de mayor espectro para lograr una mayor eficiencia espectral. Ya se ha realizado una investigación sobre varias técnicas para satisfacer esta demanda, como el uso de frecuencias más altas y el uso compartido de espectro. Tanto la aplicación de tecnología avanzada como el uso de bandas apropiadas de mayor espectro con mayor ancho de banda de canal se anticipan desde una perspectiva de velocidad de datos.

para proporcionar soporte para el gran aumento de factor proyectado para el tráfico del sistema 5G. Desde el punto de vista de la capacidad, el uso de bandas de mayor espectro también puede admitir nuevos modelos de arquitectura que promuevan una mayor eficiencia de los sistemas [31].

### 6.3.2 Nuevas bandas de frecuencia

Para cuando los sistemas de quinta generación estén disponibles comercialmente, deberán poder soportar velocidades de datos más altas y un mayor tráfico del sistema. Una buena solución para lograr este requisito será la extensión en el rango de frecuencias utilizado para la comunicación móvil. Hasta ahora, todos los sistemas de red móvil han operado en frecuencias inferiores a 6 GHz. Investigaciones recientes han demostrado que las frecuencias entre 10 GHz y 100 GHz podrán proporcionar una mayor capacidad y velocidades de datos. Sin embargo, solo podrán servir como complemento, proporcionando capacidad adicional del sistema y anchos de banda de transmisión más amplios en áreas densas. Este rango podrá dividirse en dos partes; el centímetro y las ondas milimétricas [22].

### 6.3.3 Ondas Centimétricas y Milimétricas

Para lograr velocidades de datos más altas y aumentar la disponibilidad del espectro, los operadores se centraron en la utilización de frecuencias más altas. Como se ilustra en el gráfico, estas frecuencias oscilan entre 6 GHz y 100 GHz con frecuencias centimétricas que van de 6 GHz a 30 GHz y frecuencias milimétricas de 30 GHz a 100 GHz. Las formas de onda del centímetro están más cerca de las frecuencias utilizadas actualmente, ya que se comportan de manera similar a las bandas celulares tradicionales. Por otro lado, las ondas milimétricas, cuyas longitudes de onda van de diez a un milímetro, proporcionan diez veces más ancho de banda que las bandas celulares utilizadas en las tecnologías predecesoras, soportando de esta forma mayores velocidades de datos, como se requiere para las comunicaciones de próxima generación. Sin embargo, solo pueden operar en redes densas ya que las frecuencias de hasta 30 GHz sufren atenuación atmosférica. Para ser más específicos, las condiciones inalámbricas como las precipitaciones, las

nevadas y las nieblas deben considerarse cuidadosamente debido a la perdida de la ruta. Sin embargo, esto podr a reducirse mediante el uso de configuraciones de antena mas avanzadas, como antenas de alta direccion (distribucion centralizada, distribuida, regular, etc.) [10].

#### 6.3.4 Comunicaciones de alta frecuencia

Como se mencion anteriormente, la utilizacion de bandas de frecuencia mas altas abrir una gran cantidad de ancho de banda y aliviar las preocupaciones sobre la congestion del tra co inalambrico. Adems, mientras que 4G admite cientos de megabits por se-gundo de velocidad de datos, 5G promete velocidades de datos en el rango de gigabits por segundo. Es posible que no admita esas tasas mas altas en todo momento y en todos los lugares, pero reducira las tasas de latencia en general [6]. Sin embargo, existen algunos desaf os importantes en el despliegue de comunicaciones de alta frecuencia. En general, a medida que se mueve a frecuencias mas altas, el alcance de transmision se acorta: cientos de metros en lugar de kilometros. Y las se~nales no pueden penetrar las paredes facilmente. Algunos componentes de hardware, como los conversores analogico a digital, tambien pueden ser costosos. Otro desaf o es la perdida de absorcion at-mosferica debido a los efectos del clima, como las precipitaciones, nieblas, H<sub>2</sub>O y O<sub>2</sub>. Para superar estos desaf os, los operadores se centraron en desarrollar nuevas tecnolog as que son mas adecuadas para la transmision en un periodo relativamente corto. rangos tales como celdas peque~nas y picocelulas. Las se~nales de alta frecuencia tambien se pueden reutilizar a traves de distancias cortas por diferentes celulas en una red, lo que signi ca que el espectro disponible se usa de manera mas eficiente. Ademas, el tama~no de la antena es inversamente proporcional al tama~no de la frecuencia, por lo que las se~nales de frecuencia mas alta requerir an antenas mas peque~nas. Puedes empacar mas antenas en dispositivos. Eso permite transmisiones direccionales; en realidad, puedes dirigir la se~nal en una direccion particular. Esto podr a superar la perdida de parte de la intensidad de transmision de la se~nal. Mas de una antena operando en el mismo rango de frecuencia tambien puede enviar multiples ujos de datos, aumentando la velocidad de datos [6].

### 6.3.5 MIMO avanzado

Massive MIMO es una tecnología prometedora que podrá mejorar la eficiencia del espectro y proporcionar mayores velocidades de datos. Para ser más específico, esta tecnología prevé un escenario donde tanto el receptor como el transmisor tienen una gran cantidad de elementos de antena dentro de un panel o ubicación de antena. Cada elemento de antena puede habilitar la formación de haces avanzada. Las estaciones base MIMO masivas asignan matrices de antenas a las estaciones base macro existentes, que pueden concentrar con precisión la energía transmitida a los usuarios móviles. Las celdas pequeñas descargan el tráfico de las estaciones base al superponer una capa de puntos de acceso de celdas pequeñas, lo que en realidad reduce la distancia promedio entre los transmisores y los usuarios. Con la combinación de masivas ondas MIMO y milimétricas, el haz muy estrecho podrá facilitar la gestión de la interferencia entre células. Esto también podrá permitir el uso simultáneo de una gran cantidad de usuarios conectados, menores pérdidas de propagación, mayores velocidades de datos y una mejor eficiencia energética. Cabe señalar que Massive MIMO no aumenta significativamente la velocidad máxima a un solo usuario, ya que inherentemente necesita múltiples usuarios para ser atendidos simultáneamente para lograr la alta eficiencia espectral [22].

### 6.3.6 Transmisión avanzada multiportadora

Cada generación de redes de telecomunicaciones brinda una nueva tecnología de acceso de radio que responde a las necesidades actuales del sistema. Debido al crecimiento significativo en la cantidad de dispositivos, una tecnología candidata para 5G podrá ser un método de transmisión multiportadora como OFDM, que es el utilizado en los sistemas LTE. Sin embargo, varios otros métodos modificados de portadora múltiple también se están considerando para las redes 5G, ya que podrán proporcionar un espectro más congado y, al mismo tiempo, ser compatibles con los escenarios de intercambio de espectro. Dichas técnicas podrán ser la transmisión Multi Carrier FilterBank (FBMC), la transmisión Universal Filtered Multi-Carrier (UFMC) y la Generalized Frequency-Division Multiplexing (GFDM). También se supone que el espectro más congado hace

que los esquemas de transmision anteriores dependan menos de la sincronizacion a tiempo para retener la ortogonalidad entre las diferentes transmisiones. Esto puede ser valioso especialmente para la transmision de UL con requisitos de latencia de acceso muy baja, ya que la necesidad de procedimientos de sincronizacion que requieren mucho tiempo puede relajarse o incluso evitarse [22].

### 6.3.7 Transmision no ortogonal

El acceso de radio 4G se basa en la transmision ortogonal tanto para el enlace descendente como para el enlace ascendente. La transmision ortogonal evita la interferencia y conduce a una gran capacidad del sistema. Sin embargo, para el acceso rapido de peque~nas cargas utiles, el procedimiento para asignar recursos ortogonales a diferentes usuarios puede requerir una se~nalizacion extensa y conducir a una latencia adicional. Por lo tanto, el soporte para acceso no ortogonal, como complemento del acceso ortog-onal, se esta considerando para 5G [10].

### 6.3.8 Redes heterogeneas

La quinta generacion de telecomunicaciones, ademas de nuevos casos de uso y tecnolog as, presenta desaf os sin precedentes para los operadores. Estos desaf os incluyen la necesidad de un aumento masivo de la capacidad y una mayor exhibilidad de red para admitir varios tipos de dispositivos y aplicaciones heterogeneos. Por lo tanto, las industrias se estan moviendo hacia redes heterogeneas debido a su capacidad para admitir conexiones de alta velocidad, exhibilidad de gestion de recursos e integracion de distintas tecnolog as de acceso. En particular, HetNet (tambien conocida como red heterogenea) es una nueva tecnolog a que permite el funcionamiento de la red a traves de una combinacion de diferentes tipos de celulas y tecnolog as de acceso. Al integrar varias tecnolog as diferentes segun la topolog a del area de cobertura, los operadores pueden proporcionar una experiencia del cliente mas consistente en comparacion con lo que se podr a lograr con una red homogenea. Las implementaciones de celulas peque~nas son una caracter stica clave del enfoque HetNet ya que permiten una exhibilidad con-siderable en cuanto a donde estan posicionada, sin embargo, el uso de mas celulas trae

implicaciones en terminos de suministro de energ a y backhaul, especialmente cuando estan ubicados en areas remotas. WiFi tambien puede desempe~nar un papel importante en HetNets, tanto en terminos de descarga de datos como en itinerancia [10].

### 6.3.9 Duplex completo

Full Duplex es una tecnica que permite transmision y recepcion de se~nales simultaneas a la misma frecuencia [22]. Adem as, tambien podr a usarse para respaldar el acceso al espectro sin licencia. Hay tres escenarios basicos para duplex completo:

1. Comunicaciones punto a punto, como D2D.
2. Comunicaciones punto a multipunto, donde una BS full duplex se comunica con dos usuarios half duplex con un DL y otro UL [6].
3. Redes, donde todas o varias celdas funcionaran con duplex completo todo el tiempo o en algun momento. Sin embargo, existen pocos desaf os en la imple-mentacion de duplex completo, incluida la cancelacion de interferencia propia, la prevencion de interferencia entre usuarios y la coordinacion de interferencia entre celulas para la creacion de redes [22].

### 6.3.10 Celda peque~na avanzada

Se espera que la necesidad de mayores velocidades de datos y mas datos moviles crezca signi cativamente en los proximos a~nos debido a la aparicion de IoT (Internet of Things). Como se mencion anteriormente, se estima que la cantidad de dispositivos inalambricos conectados excedera los 50 mil millones en 2020, demandando as mas ancho de banda. El crecimiento en la demanda de ancho de banda no se trata solo de telefonos inteligentes y tabletas, sino tambien de otros dispositivos informaticos, como vestibles, sensores, electrodomesticos, etc. A medida que se prev un aumento de la densidad (Gbps/km<sup>2</sup>) de las redes de radio, los operadores deben examinar nuevas formas de encontrar una solucion que mejore la cobertura y descargue el tra co de sus redes actuales de estaciones base. Las celdas peque~nas podr an ser una solucion muy buena, ya que podr an usarse para eliminar problemas de capacidad e incrementar

la velocidad de los datos, especialmente combinados con tecnologías como las ondas milimétricas. En particular, las celdas pequeñas descargan tráfico de estaciones base al superponer una capa de puntos de acceso de celdas pequeñas, lo que en realidad disminuye la distancia promedio entre transmisores y usuarios, lo que resulta en menores pérdidas de propagación y mayores tasas de datos y eficiencia energética. [4] Sin embargo, el despliegue de células pequeñas en entornos realistas enfrenta varios desafíos técnicos que deben abordarse en varias capas de red. Tales desafíos son el soporte y la paralelización de diferentes tamaños de cobertura de celdas que deben lograrse en la arquitectura de red [22].

### 6.3.11 Dispositivo avanzado Comunicación del dispositivo

Se espera que las tecnologías de quinta generación generen una abundancia de nuevos servicios y novedades. Excepto por la comunicación entre usuarios, también habrá comunicaciones de máquina a máquina y de dispositivo a dispositivo. En particular, el D2D directo (Dispositivo a Dispositivo) podrá considerarse como una herramienta más general que es una parte bien integrada de la solución general de acceso inalámbrico. Esto incluye la comunicación de datos de usuario punto a punto directamente entre dispositivos, pero también, por ejemplo, el uso de dispositivos móviles como reles para ampliar la cobertura de la red. Los proveedores de servicios podrán aprovechar la funcionalidad D2D, ya que podrán quitarle algo de carga a la red en áreas como empresas, estadios, edificios. En la comunicación D2D avanzada, se puede reutilizar un solo recurso de radio entre múltiples grupos que desean comunicarse entre sí, si la interferencia entre grupos es tolerable. D2D también podrá llevarse a cabo en un espectro bajo licencia o sin licencia bajo control de red [23]. También en ese caso, una red superpuesta, que funciona en el mismo espectro u otro, se puede utilizar para controlar ayudar a la comunicación D2D para mejorar la eficiencia y el rendimiento. Sin embargo, la comunicación D2D también deberá ser posible en escenarios donde no hay cobertura de red disponible, en cuyo caso el enlace D2D debe poder establecerse sin control, asistencia de red. Hay muchos desafíos por delante para la implementación de escenarios D2D que incluyen el esquema de gestión de interferencia eficiente, el diseño de señalización, las señales de referencia y el diseño de esquemas de transmisión.



### 6.3.12 Integracion multirate

Se prev que la demanda de datos moviles y mayores tasas de datos crecera signi cativamente en los proximos a~nos. Para cumplir con esta demanda, los operadores ya han encontrado metodos e cientes de despliegue celular y gestion del espectro. En particular, la utilizacion de una mayor cantidad de ancho de banda del sistema podr a conducir a un aumento adicional en la capacidad mediante la asignacion de mas recur-sos de frecuencia a cada usuario en el sistema. Por lo tanto, es probable que 5G sea un sistema que integra tecnolog as de radio multiple en varios segmentos de espectro a traves de una arquitectura de nida por software. El acceso de radio 5G se basar en nuevas RAT (s), junto con las tecnolog as inalambricas existentes evolucionadas como LTE, HSPA, GSM y WiFi para lograr una integracion perfecta, traer una nueva expe-riencia de usuario y permitir la introduccion de una gran cantidad de nuevos servicios [24]. La implementacion de multiples ratas y multiespectro son algunas de las nuevas tecnicas que se implementaran para lograr ganancias signi cativas en enlaces de radio y una mejor e ciencia energetica. Se debe investigar un mapeo e ciente de dispositivos y servicios para la RAT correcta, donde la seleccion de RAT puede depender de la ca-pacidad de advertencia, carga, tra co futuro, QoE y el estado de suministro de energ a de estas RAT al introducir la conciencia del contexto.

### 6.3.13 Radio cognitiva

La demanda cada vez mayor de banda ancha movil ubicua combinada con el aumento multiple en dispositivos de red son algunos de los factores mas importantes que deben considerarse en la implementacion de 5G. Dado que la demanda de datos moviles au-mentar en el orden de cientos de veces durante la proxima decada, existe una necesi-dad urgente de acomodar el tra co explosivo [6]. Adem as, los sistemas 5G, como se describio anteriormente, deber an cumplir con los requisitos de conectividad masiva, latencia cero, gran capacidad y alta con habilidad. Por lo tanto, los operadores de redes deben centrarse en encontrar nuevas tecnicas para bene ciarse de los recursos espectrales actualmente subutilizados, aumentando as la capacidad general. Sin em-bargo, uno de los desaf os mas importantes en la implementacion de 5G es que los

datos móviles son cada vez más aleatorios y diversos. En particular, el tráfico móvil se distribuye de forma desigual en el espacio y el tiempo, lo que afecta de esta forma a la relación de tráfico por usuario. Esta variación del tráfico causa un dilema obvio en la planificación de la infraestructura de red: la capacidad es insuficiente para el tráfico pico o sobreabundante y, por lo tanto, no es rentable. Además, la demanda de datos móviles para servicios de alta calidad 5G es excesiva y no puede ser proporcionada por las redes celulares convencionales que se basan en costosas bandas con licencia. Sin embargo, se ha revelado que, si bien las bandas celulares están muy capitalizadas y explotadas, algunas bandas de frecuencia que se otorgan bajo licencia a otros titulares están significativamente subutilizadas. Cognitive Radio, con la capacidad de conocer los entornos de radio y ajustar de forma flexible sus parámetros de transceptor, se ha propuesto como una técnica habilitadora para acceder dinámicamente a los recursos espectrales infrautilizados. Para ser más específico, en función de la demanda de la radio cognitiva móvil, se podrá alquilar dinámicamente las bandas de frecuencias infrautilizadas sin causar interferencia perjudicial a los titulares [16]. Esto podrá beneficiar a las compañías, ya que el costo de arrendar el espectro es mucho menor que el costo de comprar una banda con licencia. Las redes cognitivas son redes celulares que emplean la radio cognitiva para arrendar espectro adicional fuera de las bandas celulares con licencia y también se pueden usar para mitigar los problemas de interferencia desde el espacio, la frecuencia y los dominios de tiempo de una manera muy dinámica.

#### 6.3.14 Latencia

Al considerar los requisitos de latencia, no hay ningún estándar disponible; sin embargo, la industria tiene un objetivo justo sobre lo que debe ofrecer. Las métricas consideradas son la latencia de extremo a extremo de menos de 5 milisegundos y la latencia de aire de menos de 1 milisegundo. Para que eso ocurra, debe introducirse una nueva forma de pensar acerca de cómo se estructuran las redes, y es probable que se convierta en una tarea importante. A pesar de los desarrollos inevitables en las velocidades del procesador y la latencia de la red en los próximos años, las velocidades a las que las señales pueden viajar por el aire son limitadas. Posteriormente, los servicios que requieren un tiempo de retardo de menos de 1 milisegundo deben introducir nuevas topologías,

incluidos los servidores de aplicaciones colocados mas cerca del borde de la red [22]. Las estimaciones de la industria sugieren que esta distancia puede ser inferior a 1 kilometro, lo que significa que cualquier servicio que requiera una latencia tan baja debera servirse utilizando contenido ubicado muy cerca del cliente, posiblemente almacenado o almacenado, procesado en la estacion base, controlador de red de radio o similar. Otro factor que debe tenerse en cuenta es el metodo de transmision seguido. Actualmente, el acceso de radio 4G se basa en la transmision ortogonal tanto para el enlace descendente como para el enlace ascendente. La transmision ortogonal evita la interferencia y conduce a una gran capacidad del sistema. Sin embargo, para el acceso rapido de pequenas cargas utiles, el procedimiento para asignar recursos ortogonales a diferentes usuarios puede requerir una senalización extensa y conducir a una latencia adicional. Por lo tanto, el soporte para acceso no ortogonal, sin restricciones de puntos de conmutacion, de modo que cualquier ranura puede ser de enlace ascendente o descendente y, ademas, servir un enlace directo de dispositivo a dispositivo o proporcionar autocontrol, se considera como un complemento de acceso ortogonal

### 6.3.15 Estandarizacion

A diferencia de las tecnologas predecesoras, que se centraron en proporcionar servicios universales a los usuarios, los sistemas de quinta generacion evolucionan desde sistemas inalambricos de proposito unico (banda ancha movil) a una gama mas amplia de casos de uso y requisitos. Tambien es necesario considerar como las diversas tecnologas coexistan y compartiran el acceso al espectro cuando operen sin licencia y para abordar esto en estandares. Por esa razon, debe haber muchos metodos de estandarizacion coexistentes diferentes, en lugar de un estandar que se ajuste a todos estos casos de uso y escenarios. Para alcanzar el rendimiento objetivo deseado, 5G debera utilizar un rango mas amplio de frecuencias. Aunque la mayor parte de los requisitos de 5G se destinaran a sistemas mejorados de LTE, existe una necesidad urgente de desarrollar una nueva tecnologia de acceso de radio que opere en bandas que no estan incluidas en las tecnologas de cuarta generacion. Hay muchos desafios por delante para la estandarizacion de los sistemas 5G que estan determinados por la complejidad de los nuevos escenarios de uso. Como se mencion anteriormente, estos nuevos escenarios de

uso no solo serán compatibles con teléfonos inteligentes o tabletas, sino también con máquinas, dispositivos, dispositivos, etc. Los operadores de red deben encontrar formas de desarrollar métodos de estandarización que permitan que los sistemas 5G operen en un número cada vez mayor de dispositivos de red heterogéneos que pueden comunicarse entre sí. Al mismo tiempo, los estándares de red que desarrollarán deben ser capaces de minimizar la complejidad a la vez que mantienen bajo el costo de las interfaces [22].

#### 6.3.16 Modulación avanzada y codificación

La implementación de sistemas 5G requiere varios avances, principalmente en tecnologías de acceso de radio. Para ser más específicos, los algoritmos de modulación y codificación avanzados son esenciales para lograr una mayor eficiencia espectral, especialmente cuando se combinan con acceso múltiple y tecnologías de formas de onda avanzadas. Los sistemas de telecomunicación existentes, como 3G y 4G, usan codificación Turbo y Modulación de amplitud en cuadratura (QAM). Sin embargo, las tecnologías 5G requieren métodos de modulación y codificación más avanzados, como la Frecuencia y la Modulación de amplitud en cuadratura (FQAM), que pueden proporcionar una mejora significativa en el rendimiento del borde de la celda. Además, cuando se combina con despliegues de mayor densidad y cooperación multiBS, este método podrá ofrecer una mayor calidad de experiencia. Con FQAM, es probable que la distribución estadística de ICI no sea gaussiana, especialmente para los usuarios que usan teléfonos celulares. Como resultado, las velocidades de transmisión para los usuarios de borde de celda pueden mejorarse significativamente [14].

#### 6.3.17 Explotación de la escasez

El diseño de explotación espacial se basó principalmente en la teoría de muestreo de Shannon y Nyquist. El trabajo de Harry Nyquist (1928) y la prueba de Claude Shannon (1949) fue la base sobre la cual se aplicó el procesamiento de señales en las telecomunicaciones, ya que involucra pocas muestras y reconstruye la señal con alta fidelidad. Sin embargo, para las redes 5G con la tasa de datos máxima tan alta como 100 Gbps, la tasa correspondiente de Nyquist es demasiado alta, lo que hace que el hardware proce-

samiento sea demasiado costoso o incluso inasequible en la práctica. Además, en las redes 5G con densidad de conexión de hasta 1 millón de conexiones por km<sup>2</sup>, podemos enfrentar la situación de no poder recopilar su cientos mediciones para cumplir con la tasa Nyquist. Afortunadamente, alrededor de 2004, Emmanuel Candes, Terence Tao y David Donoho demostraron que, dados los conocimientos sobre la dispersión de una señal, la señal puede reconstruirse con incluso menos muestras de las que requiere el teorema de muestreo, lo que finalmente introduce la técnica de detección de compresión. En el núcleo de la detección compresiva (CS) se encuentra el descubrimiento de que la información sobresaliente de una señal puede conservarse en un número relativamente pequeño de proyecciones lineales, por lo que es posible reconstruir una señal dispersa exactamente desde un sistema de ecuaciones lineales indeterminado. Esto se puede hacer de una manera computacionalmente eficiente mediante programación convexa. A medida que cada vez más evidencia experimental sugiere que muchos tipos de señales en aplicaciones inalámbricas son dispersas o comprimibles en algún dominio de transformación, el diseño de explotación de dispersión en el marco de CS tiene el potencial de revolucionar ciertos conceptos de diseño tradicionales en comunicaciones inalámbricas 5G y, además, juegan un papel importante en los campos como la estimación de canales inalámbricos, la detección de señales, la recopilación de datos, el monitoreo de redes, y más [24].

### 6.3.18 Redes centradas en la información

Los innumerables servicios y aplicaciones móviles en línea han puesto de manifiesto las complejidades de su arquitectura básica. Por lo tanto, ha existido una necesidad urgente de desplegar nuevas arquitecturas cuyo diseño deba basarse en los criterios de movilidad, seguridad y almacenamiento en caché del contenido. Información es centrada en el concepto de red (ICN) es la arquitectura líder que puede cumplir dichos criterios de diseño. Para ser más específico, ICN es una red que separa el contenido de la ubicación de la terminal y proporciona contenido con nombre y enrutamiento de contenido basado en nombre, y el soporte de mecanismos mejorados que cambian la forma en que se realizan la seguridad y la movilidad. En particular, Information Centric Networking se centra en el soporte de nuevos modelos

de comunicacion que se centran en la distribucion de informacion en lugar de en la comunicacion de paquetes de datos entre puntos nales [22]. El CIE mejora el papel de la capa de red que reemplaza su tarea, simplemente proporciona un canal de entrega de paquetes parsabio entre los hosts que se comunican para entregar informacion con nombre a un punto nal que expresa interes en el sin una direccion explÁcita sobre donde se almacena ese contenido. Todo en un ICN se llama informacion que puede ser interconectada y etiquetada por su nombre. Al nombrar informacion en la capa de red, ICN facilita el despliegue de almacenamiento en cache (y almacenamiento en general) dentro de la red, simpli ca la multidifusion y habilita un modelo de seguridad donde el propio contenido esta asegurado en lugar del canal sobre el que se transmite el contenido. Las expresiones de interes, implementadas a traves de un mecanismo de so-licitud, respuesta, respaldan impl citamente los mecanismos de control, evitacion de la movilidad y la congestion, por lo que se puede evitar la necesidad de una superposicion para respaldar la movilidad. El mecanismo de estrategia proporciona un mecanismo exhibible para realizar un control inteligente y contextual del almacenamiento y la entrega de contenido.

### 6.3.19 E ciencia energetica

A diferencia de las tecnolog as anteriores, se lograr una mayor e ciencia energetica con 5G a traves de arreglos orientados a la infraestructura. La perspectiva de una arquitectura movil diferente, las redes ultradensas, que permite la separacion del plano de control y el plano de datos de la red, cambia la forma en que se implementaran las redes de acceso por radio. En lugar de pocas macro, costosas en energ a, se introduziran celulas, una pletora de celdas mas peque~nas, menores costos de energ a, que debido al numero total de unidades activadas, aparentemente aumentar an el consumo total de energ a. Sin embargo, y ah radica la diferencia distintiva, tales modi caciones en la arquitectura del sistema, inducen el alcance para que se realicen ajustes bene ciosos. En particular, se induce la idea del consumo de energ a en funcion de las condiciones del tra co actual. De acuerdo con lo cual, las capas de celulas mas peque~nas se apagar an parcialmente durante las situaciones de poco tra co y se encender an de nuevo cuando sea necesario, mientras que el ancla quedar intacta. Eso podr a ser, por ejemplo,

los bajos requisitos de punto caliente de un distrito comercial por la noche. Dichos periodos de latencia podran dar lugar a importantes ahorros de energa. Adem as, para la implementacion de esta idea, se debe adoptar un dise~no de interfaz aereo apropiado. El TDD dinamico parece ser conveniente desde este punto de vista, ya que es una interfaz que no requiere transmisiones constantes en todos los operadores, por lo tanto, permite que los transmisores y receptores se desactiven durante esas situaciones de tra co cero [6].

### 6.3.20 Redes moviles

Un requisito desa ante que debe cumplirse en la implementacion de comunicaciones de quinta generacion es el soporte de conectividad de red incluso en dispositivos en movimiento. Los sistemas 5G necesitan asegurarse de que funcionen en escenarios de alta velocidad que incluyan comunicaciones V2V (Veh culo a veh culo) o V2I (veh culo a infraestructura) y la movilidad de la red se extendera en velocidades muy altas para soportar mas casos de uso y servicios. Por lo tanto, el concepto de una celula se vuelve borroso a favor de un concepto mas general de conectividad, donde la red sigue el movimiento del usuario en lugar de lo contrario. La gestion de celulas nomadas y moviles presenta una serie de problemas, como activacion y desactivacion de celulas, prediccion de trayectorias y optimizacion de traspaso, ya que los usuarios atravesaran rapidamente multiples celulas en muy poco tiempo. Adem as, el desplazamiento Doppler causado por un movimiento relativo muy alto entre el transmisor y el receptor puede desa ar el uso de ondas milimetricas. [10]

### 6.3.21 Integracion del sistema

Las redes ultradensa del futuro estaran dise~nadas para proporcionar conectividad a dispositivos que utilizan una variedad de servicios diferentes. De acuerdo con la situacion del tra co actual y los requisitos de cada instalacion de la aplicacion, los ajustes apropi-ados deben ser programados, para la operacion efectiva del sistema de red. Por lo tanto, es necesaria la adaptacion exible de las celulas peque~nas a las demandas de cada nodo, as como la integracion de las diferentes capas de frecuencia dentro del sistema. Nor-

malmente, en un entorno heterogeneo, que consiste en capas de area amplia, capas de microceldas y capa de capacidad interior, por ejemplo, un dispositivo se conecta a una capa en cada momento, de acuerdo con la disponibilidad de cobertura o las necesidades del servicio utilizado. Sin embargo, en el caso de necesidad de latencia constante, tal conectividad sera insuficiente. En cambio, un sistema integrado, en el que la capa de area amplia actua como capa de coordinacion, la programacion de celdas mas pequenas para conectarse con el dispositivo, podra optimizar el rendimiento. Tal estructura, de un anclaje y la sucesion de capas de celulas mas pequenas, mejora el rendimiento en terminos de habilidad y movilidad [6].

## 6.4 Red principal de quinta generacion

Dado que la investigacion en Redes de Quinta Generacion aun se encuentra en sus etapas iniciales, el dise~no del sistema solo puede suponerse. Sin embargo, los conceptos basicos y los casos de uso, principalmente relacionados con las tecnologas y requisitos de acceso de radio, ya se estan definiendo y analizando. Para cumplir con todos esos requisitos y respaldar las expectativas de los usuarios, el dise~no del sistema debe alejarse de las tecnologas de sistemas de telecomunicaciones anteriores que estan optimizadas solo para banda ancha movil [31]. Adem~as, no puede haber ningun cambio sustancial en las tecnologas de acceso de radio sin los cambios apropiados en la red central. La evolucion de la red principal girara en torno a como habilitar mas flexibilidad para la creacion de nuevos servicios y nuevas aplicaciones. Adem~as, para soportar escenarios multiRAT, las redes centrales 5G deberan estar equipadas para que puedan integrarse perfectamente con las redes centrales predecesoras, como 3G y 4G. La computacion en la nube se convertira en la base de las redes centrales y abrir la red para permitir el aprovechamiento de las innovaciones a medida que se desarrollen [22].

### 6.4.1 Principios basicos de dise~no

Como la vision y los requisitos 5G ya han sido explicitos, existe una necesidad urgente de definir los principios de dise~no de la red, que podran soportar todos los escenarios de casos de uso. La red central de 5G debe admitir baja latencia, gran capacidad y alta tasa



de todo tipo de servicios y ofrecer una forma mas eficiente de realizar requerimientos diferenciales de servicio a pedido orquestacion [24]. Por lo tanto, las funciones de red en la red central deben basarse en Evolved Packet Core para ofrecer una funcion de reenvio y control de red eficiente y exigible. [7] Estos principios incluyen:

### 6.4.2 Redes definidas por software (SDN)

En la arquitectura SDN, el plano de control y el plano de datos estan desacoplados, luego las funciones de control extraidas se pueden integrar en un plano de control centralizado, y la infraestructura de red subyacente se abstrae de las aplicaciones y servicios de red. La adopcion de SDN puede mejorar la capacidad de administracion, la escalabilidad, la programabilidad, la agilidad y la capacidad de innovacion rapida de la red [14].

### 6.4.3 Virtualizacion de funciones de red (NFV)

La funcion de red La virtualizacion es una tecnologia fundamental para el dise~no 5G ya que proporciona flexibilidad de red al separar el hardware dedicado del software. NFV implementa funciones de red en software que se puede ejecutar en hardware estandar, ubicado en la red segun sea necesario, sin la instalacion de equipos nuevos. Esto podra conducir a la eficiencia y el costo consumo. De acuerdo con la tecnica de NFV, el plano de control puede ser reconstruido por el componente de funcion de red de software. Por lo tanto, la funcion de control reconstruido se puede implementar en cualquier lugar de la plataforma comun basada en hardware. La introduccion y el desarrollo de NFV y SDN en la red movil promoveran la innovacion de la arquitectura de red 5G, SDN y NFV son mutuamente beneficiosos pero no dependen uno del otro. NFV es altamente complementario a SDN, pero puede implementarse sin necesidad de SDN y viceversa. Los enfoques basados en la separacion del control y los planos de reenvio de datos propuestos por SDN pueden mejorar el rendimiento, simplificar la compatibilidad con las implementaciones existentes y facilitar los procedimientos de operacion y mantenimiento. NFV puede admitir SDN al proporcionar la infraestructura sobre la que se puede ejecutar el software SDN. Adem~as, NFV se alinea estrechamente con los

objetivos de SDN para usar hardware estandar. Los dos conceptos y soluciones pueden combinarse y potencialmente acumularse un mayor valor [10].

#### 6.4.4 Separacion del plano de control y acceso

La nueva arquitectura de red 5G incluye el acceso, el control y el plano de reenvío. El plano de control y el plano de reenvío de las funciones existentes (como SGW y PGW) deberían estar más separados. Esto contribuye a la centralización del plano de control de las funciones de red, la distribución de las funciones del plano de datos para localizar el tráfico de datos y una dirección más flexible del tráfico de datos de acuerdo con las políticas del operador. El avión de control es el principal responsable de generar una estrategia de control global. Los aviones de acceso y reenvío son responsables de la implementación de la estrategia [14]. Para ser más específico:

Plano de acceso: para acomodar varios requisitos de servicio y casos de uso, el plano de acceso necesita mejorar la coordinación entre diferentes estaciones base y mejorar la capacidad de programación y uso compartido de recursos inalámbricos flexibles. Mediante la utilización integral del modo de red distribuida y centralizada, la interferencia de radio entre células se puede reducir con eficacia, y la gestión de la movilidad se vuelve mucho más fácil. Con la percepción de los usuarios y los servicios, el plano de acceso define la topología de la red y la pila de protocolos según demanda para proporcionar un rendimiento garantizado de los servicios. El plano de acceso tiene la capacidad de admitir nuevas tecnologías de red, como la malla inalámbrica, la red autoorganizada dinámica y la convergencia multi-RAT.

Plano de control: la función del plano de control incluye lógica de control, orquestación bajo demanda y exposición de capacidades de red. En el aspecto de la lógica de control, basado en la separación y reconstrucción de la función de control de red, crear control de acceso, gestión de movilidad, gestión de conexión y otros elementos funcionales de forma independiente. Diferentes elementos funcionales pueden ensamblarse de manera flexible, para cumplir con diversos escenarios y requisitos de servicio. Con la ayuda de la plataforma virtualizada, el plano de control puede

realizar una orquestacion de recursos de red agil. Mediante la tecnologia de corte de red, el avion de control tiene la capacidad de construir una red logica especial y aislada para diferentes servicios que promoveran la exhibilidad y la elasticidad de toda la red. El plano de control tendra una capa de exposicion de capacidades de red [28]. A traves de las API abiertas e ignorando los detalles tecnologicos de las capas inferiores, las capacidades de la red se abstraen y se abren a la compat-ibilidad con terceros, incluida la infraestructura, la capacidad de canalizacion y los servicios de valor agregado, etc.

Avion de reenvio: en el plano de reenvio, la funcion de control de la puerta de enlace se separar por completo y el despliegue de la puerta de enlace se distribuira y localizar . El reenvio de datos esta programado por el plano de control. Basado en el anclaje de puerta de enlace exhibible, E2E puede lograr varios requisitos de banda ancha extrema, latencia ultra baja y habilidad y equilibrio de carga ultraelevados. Tambien se puede promover la eficiencia de la transmision de paquetes de datos y la experiencia del usuario.

#### 6.4.5 Interfuncionamiento entre ratas

La arquitectura 5G debe admitir la conectividad y la continuidad del servicio independientemente de las tecnologias de acceso por radio en entornos donde se mezclan diferentes tipos de celulas y nodos de relevo. [21] Ademias, deberia garantizar la movilidad sin problemas a pesar de la eficiencia de ancho de banda en un acceso inalambrico.

Control y gestion de acceso inteligente: de acuerdo con el estado actual de la red, entorno inalambrico, capacidad UE y combinando la tecnologia de deteccion de servicios inteligentes para asignar cada servicio a la tecnologia de acceso mas apropiada, para mejorar la experiencia del usuario y la eficiencia de la red.

Gestion de recursos inalambricos MultiRAT: segun tipos de servicio, cargas de red, niveles de interferencia, etc., para lograr una gestion y optimizacion conjunta de los recursos de radio de multiples redes, que realiza la coordinacion de interferencias entre multiples RAT, y logra compartir y asignar recursos completos

Protocolo y optimización de señales: mejora las interfaces entre los nodos de la red de acceso, construye relaciones de interfaz de red más flexibles y admite la distribución dinámica de funciones de red. Múltiples modos y tecnología de conexiones múltiples: el UE puede acceder a múltiples nodos de diferentes RAT al mismo tiempo, lo que permite transmitir flujos paralelos.



# CAPITULO 7

## CONCLUSIONES

La tecnología 4G LTE (Long Term Evolution) representa un elemento clave en la evolución de las redes móviles ya que su arquitectura de red plana la convierte en la solución para los problemas de capacidad y conectividad, ofreciendo altas velocidades de transmisión y permitiendo la interoperabilidad con otras redes de tecnologías 3GPP. Además, su estándar puede utilizar tanto direccionamiento IPv4 como su proyección a futuro, el IPv6. Igualmente, esta tecnología consolidará el uso de dispositivos avanzados y de aplicaciones en la nube.

El acceso de banda ancha trae mayores beneficios socioeconómicos en sectores estratégicos como educación, energía, salud, transporte, seguridad ciudadana, etc. Con la implementación de LTE se podrá abastecer estos sectores no solo en las zonas urbanas sino también en las zonas rurales, incrementando el valor del PIB en la región.

Las plataformas de telecomunicaciones móviles es una realidad en Perú con elementos reguladores desde el estado con el MTC (Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones), OSIPTEL (Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones) y además desde el sector privado. Son emergentes en su conceptualidad diferentes ciudades emergen con tecnología 4.5G y además con la nueva red dorsal nacional de fibra óptica del Perú la cual brindará nuevas oportunidades de mercado y servicios de telecomunicaciones.

## 7.1 Recomendaciones

Realizar investigacion de tecnolog as moviles tanto las madura como desde la 2 4G y emergentes como 5 7G. Debido que prometen solucionar los problemas de latencia, irradiacion ionizante, entre otras y dar paso a la RDSI, IoT en el Peru.

Implementar soluciones tanto a nivel de simulaciones como implementaciones con modems 4 5G cada vez mas accesible en el mercado tecnologico mundial.

# BIBLIOGRAFIA

- [1] Ghassan A Abed, Mahamod Ismail, and Kasmiran Jumari. The evolution to 4g cellular systems: Architecture and key features of lte-advanced networks. spectrum, 2, 2012.
- [2] Ramon Agusti Comes, Francisco Bernardo Alvarez, Fernando-jose Casadevall Pala-cio, Ramon Antonio Ferrus Ferre, Jorge Perez Romero, and Jose Oriol Sallent Roig. Lte: Nuevas tendencias en comunicaciones moviles, 2010.
- [3] Ian F. Akyildiz, David M. Gutierrez-Estevez, and Elias Chavarria Reyes. The evolution to 4g cellular systems: Lte-advanced. Physical Communication, 3(4):217 { 244, 2010.
- [4] Giuseppe Araniti, Claudia Campolo, Massimo Condoluci, Antonio Iera, and An-tonella Molinaro. Lte for vehicular networking: a survey. IEEE communications magazine, 51(5):148{157, 2013.
- [5] Ulrich Barth. 3gpp long-term evolution/system architecture evolution overview. Alcatel White Paper, 2006.
- [6] Ivan Pravda Becvar Zdenek, Pavel Mach. Redes moviles. Czech technical university in Prague,Czech Republic, 2013.
- [7] Bjorn A Bjerke. Lte-advanced and the evolution of lte deployments. IEEE Wireless Communications, 18(5), 2011.



- [8] T Blajic, D Nogulic, and M Druzijanic. Latency improvements in 3g long term evolution. In Proc. Int. Conv. Inf. Commun. Technol., Electron. Microelectron., pages 1{6, 2006.
- [9] Naveen Chilamkurti, Sherali Zeadally, and Hakima Chaouchi. Next-generation wireless technologies: 4G and beyond. Springer Science & Business Media, 2013.
- [10] E. Dahlman, S. Parkvall, and J. Skold. 4G, LTE-Advanced Pro and The Road to 5G. Elsevier Science, 2016.
- [11] Erik Dahlman, Stefan Parkvall, and Johan Skold. 4G: LTE/LTE-advanced for mobile broadband. Academic press, 2013.
- [12] Panagiotis Demestichas, Andreas Georgakopoulos, Dimitrios Karvounas, Kostas Tsagkaris, Vera Stavroulaki, Jianmin Lu, Chunshan Xiong, and Jing Yao. 5g on the horizon: Key challenges for the radio-access network. IEEE vehicular technology magazine, 8(3):47{53, 2013.
- [13] Konstantinos Dimou, Min Wang, Yu Yang, Muhammad Kazmi, Anna Larmo, Jonas Pettersson, Walter Muller, and Ylva Timner. Handover within 3gpp lte: design principles and performance. In Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2009-Fall), 2009 IEEE 70th, pages 1{5. IEEE, 2009.
- [14] 5G PPP Architecture Working Group et al. View on 5g architecture. White Paper, July, 2016.
- [15] Jayavardhana Gubbi, Rajkumar Buyya, Slaven Marusic, and Marimuthu Palaniswami. Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions. Future generation computer systems, 29(7):1645{1660, 2013.
- [16] Shinsuke Hara and Ramjee Prasad. Multicarrier techniques for 4G mobile com-munications. Artech House, 2003.
- [17] Suk Yu Hui and Kai Hau Yeung. Challenges in the migration to 4g mobile systems. IEEE Communications magazine, 41(12):54{59, 2003.

- [18] Mikio Iwamura. Ngmn view on 5g architecture. In Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2015 IEEE 81st, pages 1{5. IEEE, 2015.
- [19] Guangyi Liu, Jianhua Zhang, Ping Zhang, Ying Wang, Xiantao Liu, and Shuang Li. Evolution map from td-scdma to future b3g tdd. IEEE Communications Magazine, 44(3):54{61, 2006.
- [20] David Mart n-Sacristan, Jose F Monserrat, Jorge Cabrejas-Pe~nuelas, Daniel Cal-abuig, Salvador Garrigas, and Narc s Cardona. On the way towards fourth-generation mobile: 3gpp lte and lte-advanced. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2009(1):354089, 2009.
- [21] Tinatin Mshvidobadze. Evolution mobile wireless communication and lte networks. In Application of Information and Communication Technologies (AICT), 2012 6th International Conference on, pages 1{7. IEEE, 2012.
- [22] A f Osseiran, Jose F. Monserrat, and Patrick Marsch. 5G Mobile and Wireless Communications Technology. Cambridge University Press, New York, NY, USA, 1st edition, 2016.
- [23] Rapeepat Ratasuk, Athul Prasad, Zexian Li, Amitava Ghosh, and Mikko A Uusi-talo. Recent advancements in m2m communications in 4g networks and evolution towards 5g. In Intelligence in Next Generation Networks (ICIN), 2015 18th Inter-national Conference on, pages 52{57. IEEE, 2015.
- [24] Peter Rost, Albert Banchs, Ignacio Berberana, Markus Breitbach, Mark Doll, Heinz Droste, Christian Mannweiler, Miguel A Puente, Konstantinos Samdanis, and Bessem Sayadi. Mobile network architecture evolution toward 5g. IEEE Com-munications Magazine, 54(5):84{91, 2016.
- [25] Moray Rumney et al. LTE and the evolution to 4G wireless: Design and measure-ment challenges. John Wiley & Sons, 2013.
- [26] Mamoru Sawahashi, Yoshihisa Kishiyama, Akihito Morimoto, Daisuke Nishikawa, and Motohiro Tanno. Coordinated multipoint transmission/reception techniques

for lte-advanced [coordinated and distributed mimo]. IEEE Wireless Communications, 17(3), 2010.

- [27] Pankaj Sharma. Evolution of mobile wireless communication networks-1g to 5g as well as future prospective of next generation communication network. International Journal of Computer Science and Mobile Computing, 2(8):47{53, 2013.
- [28] Sapana Singh and Pratap Singh. Key concepts and network architecture for 5g mobile technology. International Journal of Scientific Research Engineering & Technology (IJSRET), IIMT Engineering College, Meerut, India, 1(5):165{170, 2012.
- [29] Antti Toskala, Harri Holma, Kari Pajukoski, and Esa Tirola. Utran long term evolution in 3gpp. In Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2006 IEEE 17th International Symposium on, pages 1{5. IEEE, 2006.
- [30] Lopa J Vora. Evolution of mobile generation technology: 1g to 5g and review of upcoming wireless technology 5g. International Journal of Modern Trends in Engineering and Research, 2(10):281{290, 2015.
- [31] S Ye, FR Green, PY Scarabin, V Nicaud, L Bara, SJ Dawson, SE Humphries, A Evans, G Luc, JP Cambou, et al. The 4g/5g genetic polymorphism in the promoter of the plasminogen activator inhibitor-1 (pai-1) gene is associated with differences in plasma pai-1 activity but not with risk of myocardial infarction in the ectim study. Thrombosis and haemostasis, 73(03):837{841, 1995.